

## ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق واقعی سالانه در مقیاس بزرگ به کمک تبخیر و تعرق برآوردی از روش سبال در دشت نیشابور

مهدی یآوری<sup>۱</sup>، جواد امیدوار<sup>۲</sup>، کامران داوری<sup>۳</sup>، علیرضا فرید حسینی<sup>۴</sup> محمد اینانلو<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۲۱

### چکیده

با توجه به محدود بودن منابع آب در کشور، مدیریت منابع آب راهکاری مناسب و ضروری برای حل بحران می‌باشد. برای مدیریت صحیح و علمی بر منابع آب نیاز به فهم بهتر و دانستن مجموعه‌ی پیچیده‌ی تعاملات مرتبط با آب در بیلان آب یک حوضه است. تبخیر و تعرق یکی از اجزای مهم بیلان آب می‌باشد که اندازه‌گیری مقدار واقعی آن نسبتاً مشکل و روش‌های تعیین آن محدود می‌باشد. در این تحقیق سعی شد تا با استفاده روش سنجش از راه دور (سبال) برآوردی دقیقی از تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس حوضه - سال به دست آید. برای انجام این کار ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی و شاخص SPI این سال‌ها (۸۳-۸۴، ۸۴-۸۵، ۸۴-۸۷، ۸۶-۸۷) به ترتیب به‌عنوان سال تر، نرمال و خشک تعیین گردید. سپس با استفاده از روش سبال و تصاویر ماهواره‌ای مودیس تبخیر و تعرق واقعی برای دشت نیشابور در مقیاس حوضه - سال محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج مدل SWAT مقایسه گردید که دقت خوبی را نشان می‌داد. با توجه به این که هدف از این تحقیق ارائه روشی دقیق، ساده و مقرون به صرفه برای برآورد تبخیر تعرق واقعی در مقیاس حوضه - سال بود، از بین روابط واسنجی شده معادله یانگ با  $RMSE = 28/3$  میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای کل حوضه و رابطه abcd با  $RMSE = 16/24$  میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای دشت و رابطه یانگ با  $RMSE = 19/37$  میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای کوه بهترین جواب را برآورد کرده است. البته نتایج روابط زانگ و فو نیز بسیار مشابه یانگ بوده و اختلاف کمی با یکدیگر دارند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق واقعی، سبال، معادلات تجربی، حوضه نیشابور.

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی فردوسی مشهد - Mahdi.yavari.co@gmail.com

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی فردوسی مشهد -omidvar.ja@gmail.com

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، فردوسی مشهد - k.davary@gmail.com

<sup>۴</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، فردوسی مشهد -afaridh@yahoo.com

<sup>۵</sup> مربی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، فردوسی مشهد -inanlou\_m@yahoo.com

## مقدمه

تنوع و تعدد منابع آبی از یک طرف و مصارف گوناگون آب در زمینه‌های مختلف به ویژه کشاورزی سبب گردیده تا در عصر حاضر با مشکل کمبود آب مواجه باشیم. پژوهشگران به دنبال راه کارهایی جهت مدیریت بهتر منابع آب موجود می‌باشند. ایران با قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی بیش از بسیاری از کشورها با مسئله بحران آب رو برو است. مدیریت منابع آب به‌عنوان راه حلی پیش رو، نیاز به فهم بهتر و دانستن مجموعه‌ی پیچیده‌ی تعاملات مرتبط با آب در بیلان آب یک حوضه دارد. تعیین اجزای بیلان آبی در حوزه‌های خشکی از راهکارهای مؤثر در مدیریت منابع آب با توجه به شرایط کمبود آب است و از آنجا که یکی از عوامل مهم در چرخه هیدرولوژی فرآیند تبخیر- تعرق می‌باشد، لذا امکان برآورد تبخیر- تعرق در دامنه‌ی متفاوتی از مقیاس‌های زمانی و مکانی بیش از پیش احساس می‌گردد.

تاکنون مطالعات زیادی انجام شده که همه نشان دهنده‌ی کارایی روش سبال در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای و حوضه‌های بزرگ می‌باشد (باستیانسن، ۲۰۰۰؛ حافیظ و همکاران، ۲۰۰۲؛ باستیانسن و همکاران، ۲۰۰۵؛ شو و همکاران، ۲۰۰۶؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ ژاکوب و همکاران، ۲۰۰۲؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ المهاب و بوسو، ۲۰۰۸).

میلای (۱۹۹۴) فرضیات توصیف کننده بیلان متوسط سالانه آب در حوضه را مورد ارزیابی و توسعه قرار داد. وی در ادامه مطالعات پیشین خود که بیان داشته بود بیلان آب با تعاملی ساده میان عرضه (بارش)، تقاضا (تبخیر- تعرق پتانسیل) و ذخیره آب در یک مخزن محدود آب خاک قابل توصیف است متوسط بارش به رواناب و تبخیر و تعرق پتانسیل را تعیین کرد. او نرخ میانگین تبخیر- تعرق (تبخیر- تعرق واقعی به بارش) را با استفاده از مدل آماری خاک رطوبت ایگلسون استخراج کرد. وی نتیجه کار خود را به دو صورت؛ تابعی از نمایه‌ی خشکی و پارامتر آلفا و تابعی از نمایه‌ی خشکی و پارامتر بتا ارائه داد. مدل در شرق ایالات متحده بدون واسنجی ارزیابی شد میلای بیان داشت سازگاری مدل با داده‌های مشاهداتی مویدی بر فرضیات عرضه- تقاضا - ذخیره است.

ژانگ و همکاران (۲۰۰۱) توجه به شماری از مطالعات که در آن‌ها ریشه‌های عمیق نقش هیدرولوژیکی مهمی در

سیستم‌های گیاه بخصوص تحت شرایط خشک ایفا می‌کنند، رابطه‌ای جدید توسعه دادند. آن‌ها نسبت تبخیر- تعرق واقعی به بارش را به‌عنوان تابعی از نمایه‌ی این مدل با استفاده از داده‌های رواناب - خشکی و ضریب آب در دسترس گیاه بیان کردند. این مدل با استفاده از داده‌های رواناب ۲۵۰ حوضه‌ی جنگلی و غیر جنگلی از نقاط مختلف جهان که در مساحت از ۱ تا ۶ میلیون کیلومتر مربع و در مقدار تبخیر- تعرق از ۳۵ تا ۲۹۸۰ میلی‌متر متفاوت بودند مورد ارزیابی قرار گرفت و مقدار ضریب آب در دسترس گیاه برای حوضه‌های که توسط جنگل پوشیده شدند برابر با ۲ و برای حوضه‌هایی که توسط محصولات و علف کوتاه پوشیده شده بودند، ۰/۵ به دست آمد (ضریب تعیین برای جنگل و حوضه‌های خالی از جنگل به ترتیب  $R^2 = 0.93$  و  $R^2 = 0.9$  به دست آمد). آن‌ها همچنین دریافتند اگر مقدار ضریب آب در دسترس گیاه ۱ در نظر گرفته شود بهترین برازش را با روابط اسکرایبر، بادیکو و پایک دارد.

یانگ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از آنالیز ابعادی و استدالات ریاضی حل عمومی و تحلیلی برای معادله‌ی بیلان آب - انرژی در مقیاس زمانی سالانه استخراج کردند. این معادله برای مقیاس‌های زمانی متنوعی نیز تعمیم یافت که تک پارامتر مدل می‌تواند خصوصیات حوضه و تغییراتشان را در معادله لحاظ کند.

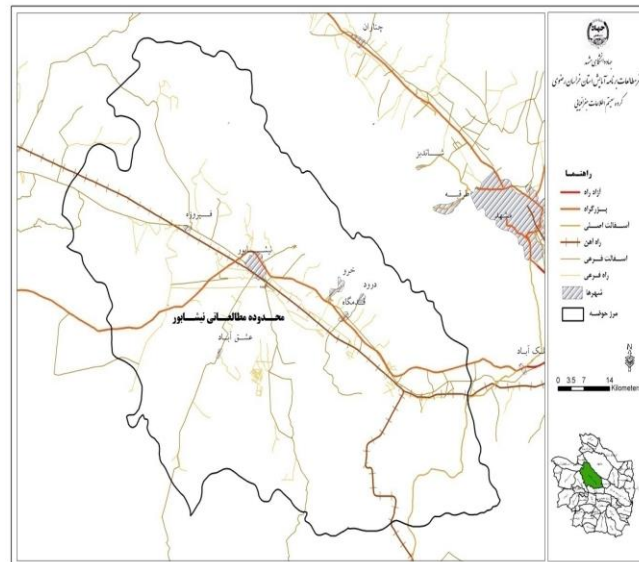
شائو و همکاران (۲۰۱۱)، در مناطق مرطوب چین با ترکیب مدل هیدرولوژیکی ایگلسون و مدل بیلان آب - انرژی یانگ به‌منظور پیش بینی اثر تغییرات آب و هوا و پوشش گیاهی بر بیلان آب حوضه، مدلی را تهیه کردند. در مدل ساده شده ایگلسون پوشش گیاهی به‌صورت تابعی از عوامل آب و هوایی نوشته می‌شود. این معادله برای تخمین پوشش گیاهی در رابطه‌ی تجربی که توسط یانگ و همکاران (۲۰۰۷) برای تخمین پارامتر مدل یانگ ارائه شده بود استفاده شد.

هدف از این پژوهش تولید نقشه‌های ET سالانه با استفاده از مدل سبال و داده‌های سنجش از دور و ارائه یک مدل تجربی برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس حوضه می‌باشد.

## منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز دشت نیشابور جزئی از حوزه آبریز کویر مرکزی ایران بوده و در شمال شرق آن قرار می‌گیرد. این حوزه با وسعت کل ۷۵۰۰ کیلومتر مربع که حدود ۴۳۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد در طول جغرافیایی ۱۳' و ۵۸° تا ۳۰' و ۵۹° و

عرض جغرافیایی ۴۰' و ۳۵° تا ۳۹' و ۳۶° واقع شده است. موقعیت حوزه آبریز نیشابور به همراه راه‌های دسترسی آن، نسبت به حوزه‌های آبریز در استان خراسان رضوی در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش

با توجه به این که هدف از این پژوهش تولید نقشه‌های ET سالانه با استفاده از مدل سبال و ارائه یک مدل تجربی برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس حوزه می‌باشد ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی و شاخص SPI سال‌های آبی ۸۴-۸۳، ۸۵-۸۴ و ۸۷-۸۶ به ترتیب به‌عنوان سال تر، نرمال و خشک تعیین گردید.

اساس تئوری و چگونگی روند محاسبات برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از روش سبال به تفصیل در منابع مختلف ارائه شده است (Allen et al, 2002). مقدار تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می‌شود. از آنجا که تصاویر ماهواره‌ای تنها می‌توانند اطلاعاتی در زمان گذر ماهواره ارائه دهند لذا مدل مذکور قادرست مقدار شار گرمای نهان لحظه‌ای را در زمان تصویر، برآورد نمایند. شار گرمای نهان برای هر پیکسل تصویر و به‌صورت باقیمانده معادله توازن انرژی سطح محاسبه می‌شود.

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

در معادله فوق،  $\lambda E$  شار گرمای نهان ( $W/m^2$ )،  $R_n$  شار تابش خالص در سطح زمین ( $W/m^2$ )،  $G$  شار گرمای خاک ( $W/m^2$ ) و  $H$  شار گرمای محسوس ( $W/m^2$ ) می‌باشد. همان‌طور که در معادله (۱) مشاهده می‌شود دقت برآورد شار گرمای نهان به روند محاسبات و دقت برآورد پارامترهای  $R_n$ ،  $G$  و  $H$  بستگی دارد. الگوریتم‌های سبال (Allen et al, 2002) و متریک در اکثر بخش‌های محاسباتی مشابه هم می‌باشد و تنها در برخی از روابط با هم متفاوت می‌باشند. مقدار تابش خالص  $R_n$  از توازن چهار شار تابشی در سطح زمین به دست می‌آید که عبارتند از:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (2)$$

هر پیکسل محاسبه می‌گردد و سپس با استفاده از معادله‌ی (۵) مقدار لحظه‌ای تبخیر و تعرق واقعی ( $ET_{inst}$ ) برآورد می‌شود.

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (۵)$$

$\lambda$  در معادله فوق گرمای نهان تبخیر ( $J/kg$ ) می‌باشد. از آنجا که مقادیر  $ET$  روزانه نسبت به مقادیر لحظه‌ای کاربردی‌تر است نیاز است مقادیر لحظه‌ای به دست‌آمده توسط ماهواره در زمان گذر، به مقادیر روزانه تبدیل شود. در روش سبال به‌منظور محاسبه مقدار  $ET$  ۲۴ ساعته، از کسر تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_rF$ ) و تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_r$ ) محاسبه می‌شود. مقدار  $ET_r$  در زمان تصویر بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی و با استفاده از روش پنمن-مانتیت فائو ۵۶ محاسبه گردید.

$$ET_rF = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (۶)$$

جهت تبدیل مقادیر لحظه‌ای  $ET$  به مقادیر روزانه فرض می‌شود مقدار  $ET_rF$  لحظه‌ای محاسبه شده از طریق معادله (۶) در طول ۲۴ ساعت شبانه روز تقریباً ثابت است بنابراین می‌توان مقدار روزانه  $ET$  واقعی را با استفاده از  $ET_rF$  و تبخیر و تعرق مرجع ۲۴ ساعته در روز تصویر ( $ET_{r-24}$ ) محاسبه نمود.

$$ET_{24} = ET_rF \times ET_{r-24} \quad (۷)$$

با استفاده از برون‌یابی داده‌های تبخیر-تعرق ۲۴ ساعته نسبت به تبخیر-تعرق مرجع می‌توان تبخیر-تعرق فصلی را از تصویر ماهواره‌ای تهیه کرد. سپس با استفاده از روابط زیر  $ET$  برای دوره مورد نظر به دست می‌آید (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

$$ET_{period} = ET_rF_{period} \sum_1^n ET_{r-24} \quad (۸)$$

که  $ET_{r-24}$  مقدار کسر تبخیر در دوره مورد نظر،  $ET_{r-24}$  مقدار روزانه تبخیر-تعرق مرجع و  $n$  تعداد روزهای دوره است (این دوره بستگی به تعداد تصاویر دارد که

$R_{s\downarrow}$  تابش طول موج کوتاه ورودی ( $Wm^{-2}$ ) که بخشی از این انرژی تابشی توسط سطوح مختلف منعکس می‌شود ( $R_{s\uparrow}$ )، تابش طول موج بلند خروجی ( $R_{L\uparrow}$ )، تابش طول موج بلند ورودی ( $Wm^{-2}$ ).

شار گرمای خاک ( $G$ )، میزان ذخیره گرما در خاک و پوشش گیاهی به علت رسانش است. در الگوریتم سبال مقدار  $G$  با استفاده از یک معادله تجربی توسط باستیانسن (۲۰۰۰) و به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$\frac{G}{R_n} = (T_S - 273.15)(0.0038 + 0.0074\alpha) \times (1 - 0.98NDVI^4) \quad (۳)$$

که  $T_S$  دمای سطحی ( $^{\circ}C$ )،  $\alpha$  آلبدوی سطحی،  $NDVI^5$  شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی می‌باشد.

محاسبه مقدار شار گرمای محسوس به‌صورت ذیل می‌باشد:

$$H = \frac{\rho \times c_p \times dT}{r_{ah}} \quad (۴)$$

در معادله فوق،  $\rho$  چگالی هوا ( $kg/m^3$ )،  $C_p$  گرمای ویژه هوا ( $1004 J/kg/K$ )،  $dT$  اختلاف دمای هوای نزدیک سطح زمین ( $K$ ) و  $r_{ah}$  مقاومت آئروپنمیک برای انتقال گرماس (S/m). جهت برآورد شار گرمای محسوس، ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می‌شوند. یکی از این پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود مربوط به منطقه‌ای کاملاً پوشیده از گیاه و خوب آبیاری شده است، دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر و تعرقی معادل تبخیر و تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک می‌باشد؛ بنابراین مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می‌شود. در روش سبال طبق معادله‌ی (۱) و بر اساس مقادیر تبخیر و تعرق دو پیکسل مذکور، شار گرمای محسوس در این دو پیکسل محاسبه شده و سپس مقدار شار گرمای محسوس سایر پیکسل‌ها تخمین زده می‌شود... پس از آنکه مقدار شار گرمای محسوس بر اساس شرایط جوی تصحیح گردید، مقدار لحظه‌ای شار گرمای نهان تبخیر مطابق با فرمول (۱) برای

<sup>5</sup> - Normalized Difference Vegetation Index

(حمیدی ۱۳۹۲). معادلات انتخاب شده در جدول ۱ ارائه شده است.

PET, AET و P به ترتیب تبخیر- تعرق واقعی، تبخیر- تعرق پتانسیل و بارش برحسب میلی متر و  $\phi$ ، نمایه خشکی و R تابعی از نمایه خشکی است.  $\gamma, \omega, \beta, \alpha$  نیز تک پارامترهای معادلات هستند. همان طور که معادلات تک پارامتری جدول بالا نشان می دهد، داده های ورودی برای همه معادلات بارش و تبخیر- تعرق پتانسیل و خروجی معادلات تبخیر- تعرق واقعی است؛ بنابراین برای به دست آوردن تبخیر- تعرق واقعی کل حوضه در مقیاس سالانه می بایست متوسط بارش و تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه حوضه را وارد معادلات کرد. از این رو نیاز است تا متوسط بارش و تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه حوضه از داده های موجود استخراج شود.

هرچه تصاویر بیشتری در اختیار داشته باشیم طول دوره کوتاه تر می شود. در نهایت با استفاده از مجموع مقادیر  $ET_{period}$  برای دوره مورد نظر، مقدار ET برای آن دوره به دست می آید.

براساس مطالعات انجام شده از فرضیات بادیکو و نسبت مکمل معادلاتی استخراج شده است که به سه گروه معادلات فاقد پارامتر، یک پارامتری و چند پارامتری تقسیم می شوند. باتوجه به بررسی های انجام شده، معادلات فاقد پارامتر به دلیل اینکه قابلیت واسنجی برای حوضه را ندارند و معادلات چند پارامتری تبخیر- تعرق را به صورت روزانه و برای ایستگاه های سینوپتیک محاسبه می کنند و با روش های درون یابی برای کل حوضه پهنه بندی انجام می دهند به دلیل اینکه در حوضه نیشابور تنها یک ایستگاه سینوپتیک وجود دارد، کنار گذاشته شده و تنها از معادلات یک پارامتری استفاده شده است

جدول ۱: معادلات تجربی و نیمه تجربی

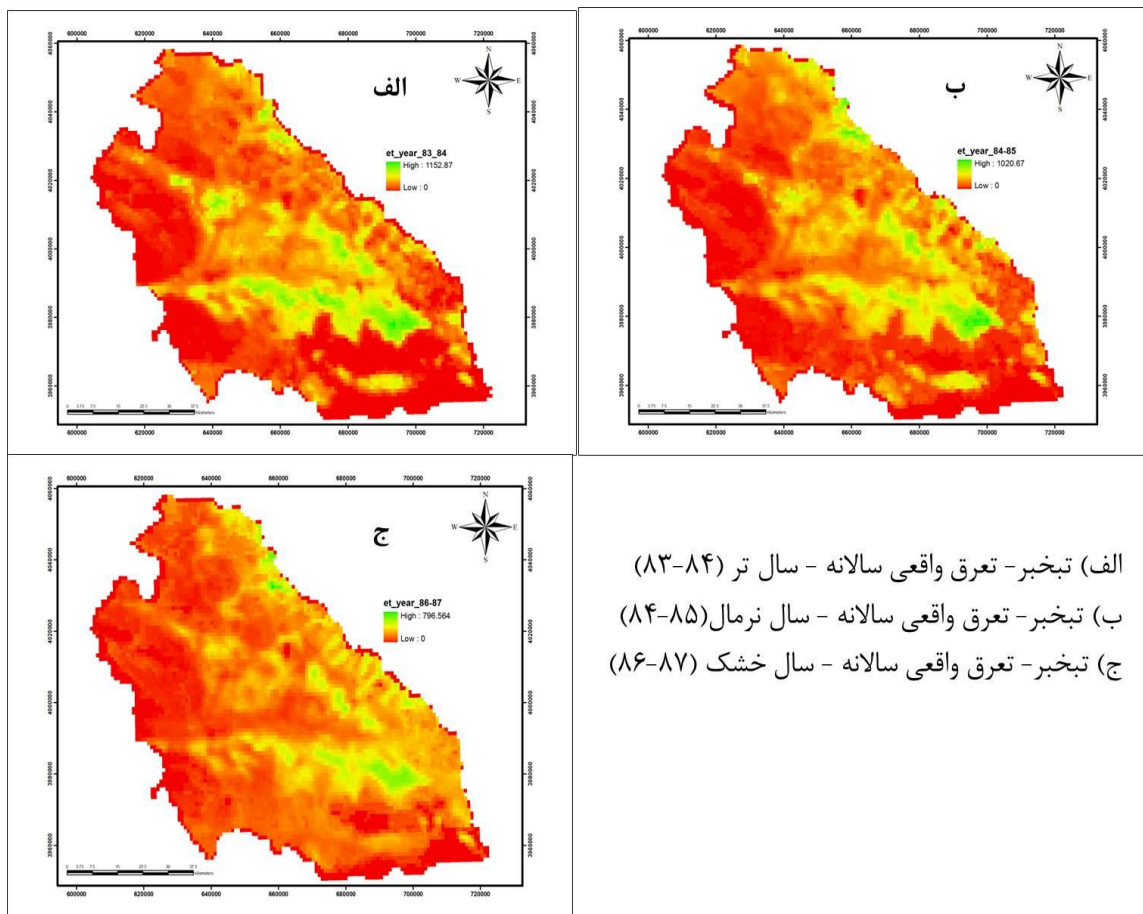
| معادله   | منبع                          |
|--|-------------------------------|
| $\frac{AET}{P} = 1 - \frac{\phi \frac{\bar{P}}{\phi}^{-1} \exp(-\bar{P})}{\Gamma\left(\frac{\bar{P}}{\phi}\right) - \Gamma\left(\frac{\bar{P}}{\phi}, \bar{P}\right)}$ | پرپریتو، ۲۰۰۴                 |
| $\frac{AET}{P} = \frac{(1 + \omega(\phi))}{(1 + \omega(\phi) + \frac{1}{\phi})}$   | ژانگ، ۱۹۹۹                    |
| $\frac{AET}{P} = \frac{1}{2} \{1 + \gamma(1 - R) - [1 - 2\gamma(1 - R) + \gamma^2(1 - 2R + R^2)]^{0.5}\}$  | سنکاراسوبرامانیا و ووگل، ۲۰۰۲ |
| $\frac{AET}{P} = \left(1 + \phi - (1 + (\phi)^\omega)^{\frac{1}{\omega}}\right)$   | فو، ۱۹۹۸                      |
| $\frac{AET}{P} = \frac{\exp\left(\alpha\left(1 - \frac{1}{\phi}\right)\right) - 1}{\exp\left(\alpha\left(1 - \frac{1}{\phi}\right)\right) - \frac{1}{\phi}}$           | میلا، ۱۹۹۴                    |
| $\frac{AET}{P} = \frac{\exp(\beta(\phi - 1)) - 1}{\exp(\beta(\phi - 1)) - \frac{1}{\phi}}$   | میلا، ۱۹۹۴                    |
| $\frac{AET}{P} = \left(\frac{PET}{(P^n + PET^n)^{\frac{1}{n}}}\right)$   | یانگ، ۲۰۰۷                    |

است و یا در فاصله بین دو تصویر تغییرات دمایی بالایی رخ داده باشد. برای رفع این مشکل ابتدا داده‌های دما (ماکزیمم، مینیمم و متوسط) و بارش در سال‌های انتخاب شده جمع‌آوری و سپس دامنه تغییرات هریک از پارامترهای دما و بارش در هر فصل و برای هر سال محاسبه شد. سپس روزهایی که در آن‌ها اختلاف دما یا بارش با روزهای بعد یا قبل بیشتر از ۲۰٪ دامنه تغییرات بود انتخاب شد؛ و همچنین روزهای قبل و بعد از هر بارندگی نیز به‌عنوان روزهایی مورد نیاز انتخاب شد. در برخی از روزهای انتخابی تصاویر مودیس یا موجود نبود و یا به دلیل شرایط آب و هوایی بد تصاویر دارای مشکل بود که در این موارد نزدیک‌ترین روز به روز انتخابی که در آن تصویر موجود بود جایگزین می‌شد.

## نتایج و بحث

در این تحقیق تلاش بر این است تا با استفاده از نتایج روش سبال، روابط تجربی کالیبره شده و بهترین انتخاب شود. از این رو می‌بایست نتایج روش سبال دارای دقت بالایی باشد تا بتوان از آن‌ها برای واسنجی روابط تجربی استفاده کرد. برای این منظور با توجه به مقیاس زمانی و مکانی مورد نیاز در این تحقیق از تصاویر مودیس که برای هر روز موجود می‌باشد و همچنین کل سطح حوضه را نیز پوشش می‌دهد استفاده شد.

اما موضوع مهم در این قسمت انتخاب روزهایی است که باید در آن روزها تصاویر تهیه شود. برای این کار نمی‌توان از یک پروید ثابت برای کل سال استفاده نمود، زیرا ممکن است درست روز بعد از تصویر بارندگی رخ دهد و این امر در میزان تبخیر- تعرق واقعی بسیار تاثیر گذار



شکل ۲: نقشه‌های تبخیر و تعرق سالانه برای سال‌های تر و نرمال و خشک

میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای کوه بهترین جواب را برآورد کرده است. البته روابط ژانگ و فو نیز نتایج مشابه و با اختلاف کمی نسبت به یانگ به دست آورده‌اند. مقایسه این نتایج با مطالعه مشابه (حمیدی ۱۳۹۲) جواب‌های یکسانی را نشان می‌دهد با این تفاوت که مقدار عددی  $R_{MSE}$  در این تحقیق به دلیل تعداد کم سال‌های آماری بیشتر است که این امر موجب کاهش  $R^2$  نیز شده است.

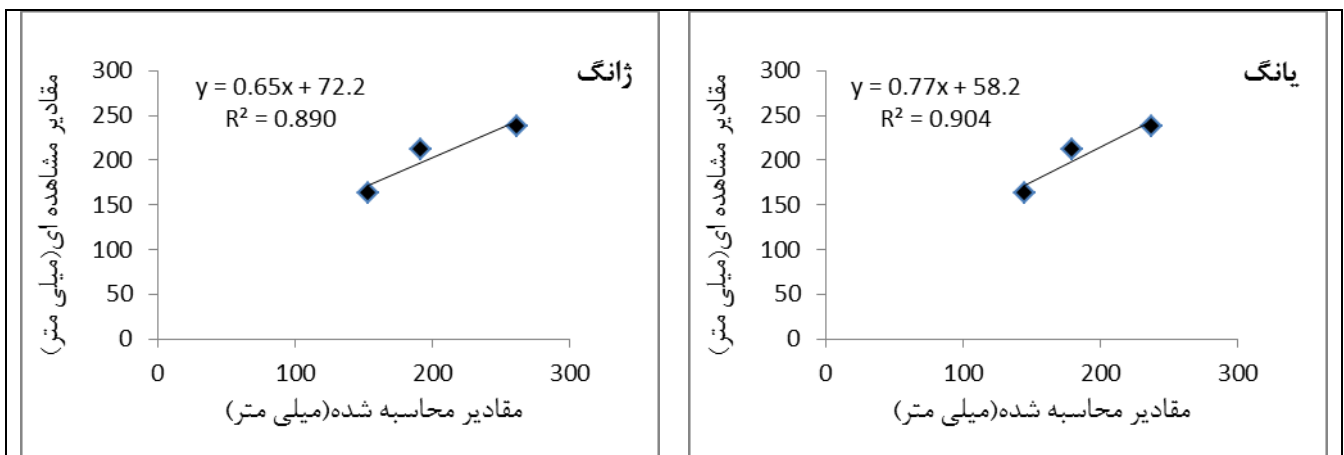
برای مقایسه و انتخاب بهترین رابطه از دو آماره ضریب همبستگی  $R^2$  و ریشه میانگین مربعات خطا  $R_{MSE}$  استفاده شد. روابط براساس کوچک‌ترین  $R_{MSE}$  و بالاترین  $R^2$  رتبه‌بندی شدند. در جدول ۲ روابط و میزان آماره مربوط به هر یک را مشاهده می‌کنید. بر اساس این نتایج رابطه یانگ با  $R_{MSE} = 28/3$  میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای کل حوضه و رابطه abcd با  $R_{MSE} = 16/24$  میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای دشت و رابطه یانگ با  $R_{MSE} = 19/37$

جدول ۲: مقایسه نتایج روابط

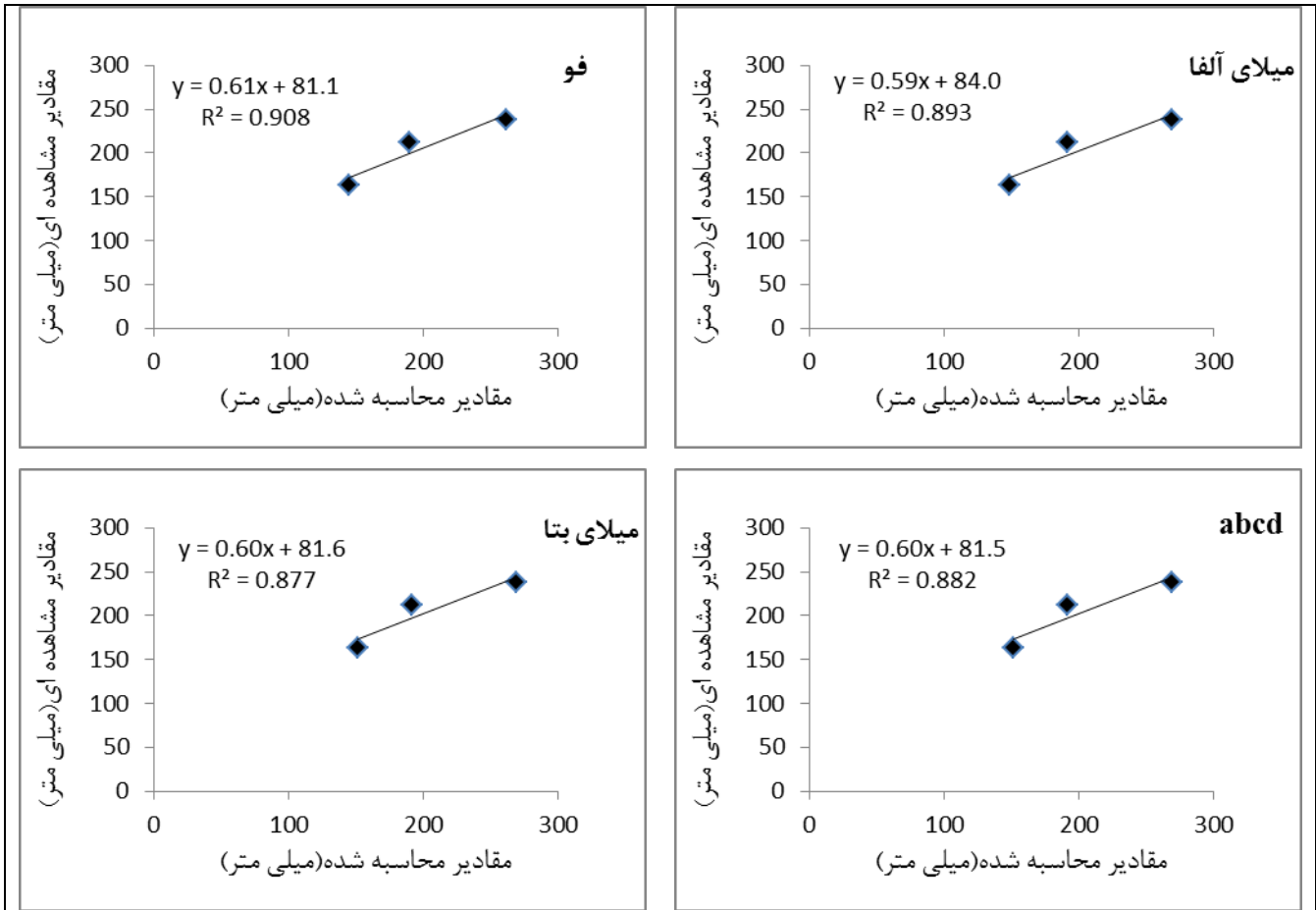
| پریپرتو              | abcd  | میلای بتا | میلای آلفا | فو    | یانگ  | ژانگ  |         |
|----------------------|-------|-----------|------------|-------|-------|-------|---------|
| <b>RMSE</b>          |       |           |            |       |       |       |         |
| ۲۳۱/۴                | ۳۵/۱  | ۳۵/۲      | ۳۵/۶       | ۳۱/۶  | ۲۸/۳  | ۲۸/۷  | کل حوضه |
| ۷۷/۷۳                | ۲۹/۵۷ | ۲۷/۳۸     | ۲۶/۸۷      | ۲۴/۲۵ | ۱۹/۳۷ | ۲۰/۶۴ | کوه     |
| ۱۶۵/۵۱               | ۱۶/۲۴ | ۲۶/۶۴     | ۳۱/۰۶      | ۲۸/۰۱ | ۲۷/۵۳ | ۲۷/۷۳ | دشت     |
| <b>R<sup>2</sup></b> |       |           |            |       |       |       |         |
|                      | ۰/۸۸  | ۰/۸۷      | ۰/۸۹       | ۰/۹۰  | ۰/۹۰  | ۰/۸۹  | کل حوضه |
|                      | ۰/۸۷  | ۰/۸۹      | ۰/۸۸       | ۰/۸۹  | ۰/۹۰  | ۰/۸۸  | کوه     |
|                      | ۰/۹۰  | ۰/۸۷      | ۰/۸۸       | ۰/۸۸  | ۰/۸۹  | ۰/۸۷  | دشت     |

می‌دهد که مقدار خطا در بارش‌های بالا افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش می‌تواند نوسانات بارش در منطقه خشک و نیمه خشکی مانند نیشابور باشد (نمودار ۱ و ۲).

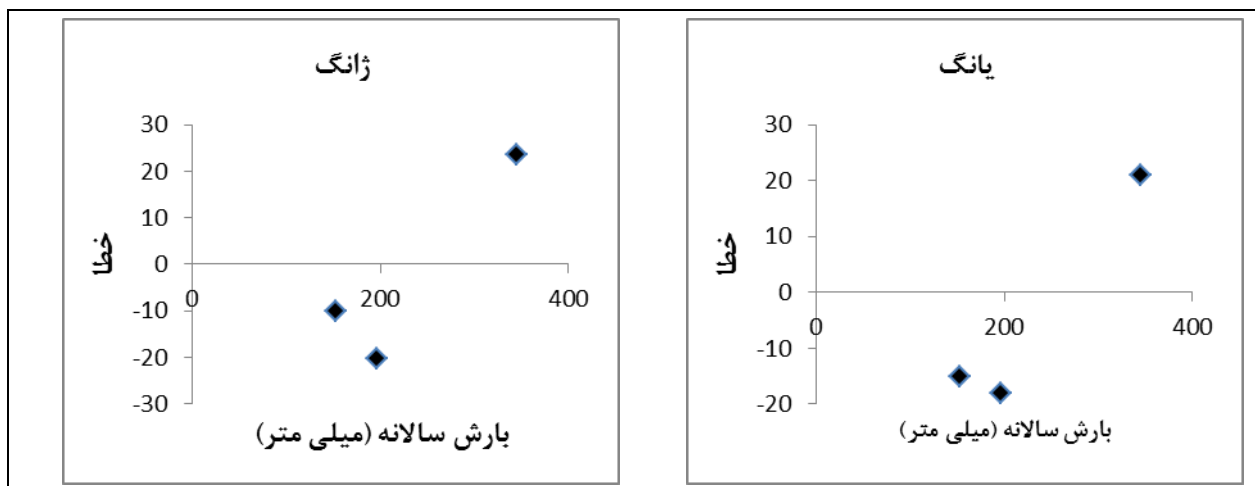
در نمودارهای زیر نیز میزان  $R^2$  برای هریک از روابط و در ادامه نمودار میزان خطای تبخیر- تعرق برآوردی هریک از روابط نسبت به تبخیر- تعرق محاسبه شده با روش SEBAL رسم شده است. این نمودارهای نشان



نمودار ۱: بهترین نتایج برای معادلات مختلف

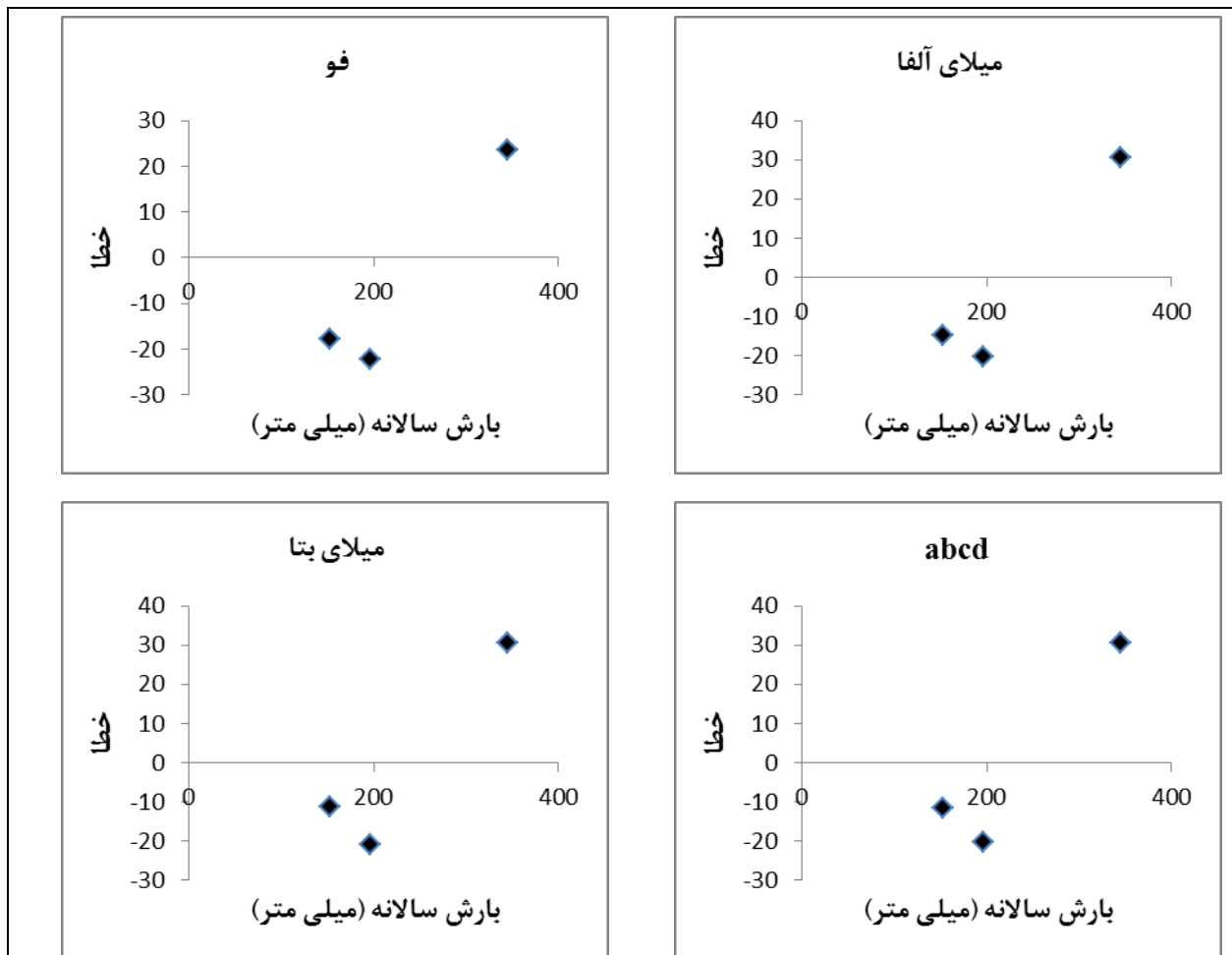


ادامه نمودار ۱: بهترین نتایج برای معادلات مختلف



نمودار ۲: خطای معادلات مختلف در برآورد تبخیر - تعرق واقعی





ادامه نمودار ۲: خطای معادلات مختلف در برآورد تبخیر- تعرق واقعی

دور (سبال) ابتدا برآوردی دقیق از تبخیر- تعرق در مقیاس حوضه- سال داشته باشیم و سپس با استفاده از نتایج آن بتوانیم روابط تجربی و نیمه تجربی را واسنجی کرده و رابطه‌ای که بهترین نتایج را برای منطقه مورد مطالعه (نیشابور) دارد انتخاب کنیم.

تبخیر- تعرق واقعی برای حوضه نیشابور در سال‌های (۸۳-۸۴، ۸۴-۸۵ و ۸۶-۸۷) با استفاده از روش سبال محاسبه شد. با توجه به اینکه در بحث تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس حوضه- سال داده مرجعی وجود ندارد، لذا نتایج روش سبال ابتدا با داده‌های هواشناسی مانند دما و بارش و سپس با تبخیر- تعرق پتانسیل بررسی شد و نشان داد که دارای دقت قابل قبولی می‌باشد.

نتایج روش سبال به‌عنوان داده مشاهده‌ای برای واسنجی روابط تجربی به کار گرفته شد. برای واسنجی

## نتیجه‌گیری

همان‌طور که در مقدمه‌ی این تحقیق گفته شد مصارف بیش از حد آب در بخش‌های مختلف بخصوص بخش کشاورزی موجب شده کمبود آب به‌عنوان یک بحران جدی که زندگی بشر را تهدید می‌کند در سطح جهان مطرح شود. برای حل این مشکل نیاز به مدیریت منابع آب می‌باشد. یکی از عوامل مهم در مدیریت منابع آب برآورد دقیق بیلان آب است تا براساس آن بتوان برنامه‌ریزی صحیحی برای منابع آب و مصارف گوناگون از آن‌ها داشت. یکی از پارامترهای مهم در بیلان آب، تبخیر- تعرق واقعی می‌باشد.

با توجه به این که برآورد دقیق تبخیر- تعرق واقعی در سطح یک حوضه و در مقیاس سالانه کار بسیار دشواری بوده و نیاز به زمان و هزینه زیادی دارد، از این رو در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از روش سنجش از

سال پنجم • شماره هفدهم • پاییز ۱۳۹۳

۱- با توجه به نتایج به دست آمده و اعتبار سنجی مدل سبال با تمامی داده‌های موجود و اینکه در همه موارد مدل سبال همخوانی کاملی را نشان داد می‌توان نتیجه گرفت که مدل سبال دارای دقت خوبی در مقیاس حوضه - سال در منطقه مورد نظر است

۲- با کالیبره کردن روابط تجربی و استفاده از آن‌ها در برآورد تبخیر- تعرق واقعی و مقایسه آن‌ها با نتایج مدل سبال می‌توان نتیجه گرفت که این روابط دارای دقت کافی برای منطقه بوده و می‌توان با استفاده از آن‌ها تبخیر- تعرق واقعی را در مقیاس حوضه - سال با دقت مناسب و زمان و هزینه کمتر برای حوضه نیشابور برآورد کرد.

پارامترهای این روابط از روش Cross Validation و برای ارزیابی صحت این واسنجی از آماره  $R_{MSE}$  استفاده شد. با توجه به این که هدف از این تحقیق ارائه روشی دقیق، ساده و مقرون به صرفه برای برآورد تبخیر تعرق واقعی در مقیاس حوضه- سال بود، از بین روابط واسنجی شده معادله یانگ با  $R_{MSE} = 28/3$  میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای کل حوضه و رابطه abcd با  $R_{MSE} = 16/24$  میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای دشت و رابطه یانگ با  $R_{MSE} = 19/37$  میلی‌متر و  $R^2 = 0/90$  برای کوه بهترین جواب را برآورد کرده است. البته نتایج روابط ژانگ و فونیز بسیار مشابه یانگ بوده و اختلاف کمی با یکدیگر دارند. با توجه به فرضیات مطرح شده در ابتدای این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که:

## منابع

- حمیدی، ز. ۱۳۹۲. "ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس بزرگ به کمک تبخیر- تعرق برآوردی از مدل SWAT". پایان نامه کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه فردوسی، مشهد.
- رحیمی خوب، ع. ۱۳۸۴. تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از تصاویر نوا، مطالعه‌ی موردی حوزه دریاچه‌ی ارومیه. پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- زبیری، م. و ع. مجد. ۱۳۸۵. آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳۱۵، تهران.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیست و یکم، انتشارات دانشگاه امام رضا، ص ۸۰۳. مشهد.
- مهاجرپور، م.، م. موسوی بایگی و م. هاشمی نیا. ۱۳۸۷. اندازه گیری تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش بالانس انرژی (نسبت باون) و مقایسه آن با داده های لایسیمتر. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، ۲۲ (۱): ۱۳-۲۱.
- نوری، س. ۱۳۸۹. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر سنجنده مودیس در زیر حوضه آبریز مشهد. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
- Allen, R., A. Morse and M. Tasumi. 2003. "Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning". ICID workshop on remote sensing of ET for large regions.
- Allen, R., R. Waters, M. Tasumi, R. Trezza and W. Bastiaanssen. 2002. SEBAL, Surface energy balance algorithms for land, Idaho Implementation. *Advanced Training and Users Manual, version 1.0*.
- Allen, R.G., M. Tasumi and R. Trezza. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRC)-model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133( 4): 380-393.
- Barratt, D., M. Parsons, W. Welsh and E. Nation. 2010. Investigating land usechange- scenario impacts: potential effects of reforestation on water yield in the Upper Murray River Basin. Bureau of Rural Sciences.
- Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes and A.A. Holtslang. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212-213: 198-212.
- Di Bella, C. M., C.M. Rebella and J.M. Paruelo. 2000. Evapotranspiration estimates using NOAA AVHRR imagery in the Pampa region of Argentina. *International Journal of Remote Sensing*, 21(4): 791-797.
- Donohue, R.J., M.L. Roderick and T.R. McVicar. 2007. On the importance of including vegetation dynamics in Budyko's hydrological model. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 11: 983-995.
- Granger RJ and DM. Gray. 1989. Evaporation from natural nonsaturated surfaces. *Journal of Hydrology* 111: 21-29.
- Hafeez, M.M., Y. Chemin, N. Van De Giesen and B.A.M. Bouman. 2002. Field evapotranspiration estimation in Central Luzon, Philippine, using different sensors: Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, Terra MODIS and

- Aster. Proceedings of Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application. Ottawa, Canada.
- Kimura, R, L. Bai, J. Fan, N. Takayama, O. Hinokidani.2007. "Evapotranspiration estimation over the river basin of the Loess Plateau of China based on remote sensing". *Journal of Arid Environments* 68 - 53-65.
16. Jacob, F., A. Olioso, X.F. Gu, J.F. Hanocq, O. Hautecoeur and M. Leroy. 2002. Mapping surface fluxes using visible-near infrared and thermal infrared data with the SEBAL algorithm. *Journal of Agronomies*, 22: 669-680.
17. Jensen ME, RD. Burman and RG. Allen. 1990. Evaporation and Irrigation Water Requirement. ASCE Manual No. 70. *American Society of Civil Engineers: New York*; 332.
18. Meng, L., L.I. Tao, J. Li and C. Wang. 2008. A system for automatic processing of MODIS L1B data. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, China*, 335-343.
19. Morton, FI. 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology* 66: 1-76
20. Roerink, G.J., B. Su and M. Menenti. 2000. S-SEBI A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 25(2): 147-157.
21. Shao, W., D. Yang, F. Sun and J. Wang. 2011. Analyzing the Regional Soil-vegetationatmosphere
22. Shu, Y., Y. Lei, L. Zheng and H. Li. 2006. An evapotranspiration (ET) model based GIS using LANDSAT data and MODIS data with improved resolution. *Journal of Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Application, and Geology VI*, 6366.
23. Wang, J., T.W. Sammis, C.A. Meier, L.J. Simmons, D.R. Miller and Z. Samani.2005. A Modified SEBAL Model for Spatially Estimating Pecan Consumptive Water Use
24. Yang, D., F. Sun, Z. Liu, Z. Cong, G. Ni and Z. Lei. 2007. Analyzing spatial and temporal variability of annual water-energy balance in nonhumid regions of China using the Budyko hypothesis. *Water Resources Research*. 43(4), DOI: 10.1029/2006WR005224.
25. Yang, H., D. Yang, D., Z. Lei, Z., and F. Sun. 2008. New analytical derivation of the mean annual water-energy balance equation. *Water Resources Research*. 44(3), DOI: 10.1029/2007WR006135.

## Evaluation of “Experimental Methods in Estimation of Large-Scale Actual Annual Evapotranspiration” using “Estimated Evapotranspiration from SEBAL” for Neyshabor Plain

Mahdi Yavari<sup>1</sup>, Javadomidvar<sup>2</sup>, Kamrandavary<sup>3</sup>, AlirezaFaridhossini<sup>4</sup>, MohammadInanloo<sup>5</sup>

### Abstract

According to Limited water resources in the country, Management of water resources as a strategy, it is essential for the crisis. For correct and scientific management of water resources that are needed A better understanding and knowledge of the complex collection of interactions associated with water in a water balance catchment. Evapotranspiration is one of the most important components of the water balance that it is difficult to measure the actual rate And have limited methods. In this study tried to achieve accurate estimates of actual evapotranspiration in catchment-year scale by using remote sensing method (SEBAL). To accomplish this, firstly using meteorological data and the SPI Index Years 84-83, 85-84 and 87-86 Were determined As the wet, normal and dry years Respectively. Then it was calculated actual evapotranspiration for Neishabour plain in catchment-year scale by using MODIS satellite images and SEBAL method. The results were compared with the results of the SWAT model that is showed good accuracy. Due to the purpose of this study is to provide an accurate, simple and inexpensive estimate for actual evapotranspiration in catchment-year scale, from the calibration relationship, Young's equation for the entire basin with  $RMSE= 28.3$  mm and  $R^2 = 0.90$  and abcd equation for the plain with  $RMSE= 16.24$  mm and  $R^2 = 0.90$ , and Young's equation for the mountain with  $RMSE= 19.37$  mm and  $R^2 = 0.90$  estimate The best response. Of course The results of Zhang's and Fu's equations were similar to Young's equation and there are a few differences

**Keywords:** Actual evapotranspiration, SEBAL, Nieshaboor watershed experimental and semi-experimental equations