

تخمین میزان تبخیر تعرق و کارایی در مقیاس حوضه آبریز با استفاده از سنجش از دور: مطالعه موردی در زیر حوضه قره سو

مریم عمادزاده^۱، مسعود تجریشی^۲، پیمان دانشکار آراسته^۳

۱- کارشناس ارشد دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

۲- دانشیار دانشگاه صنعتی شریف

۳- استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

emadzadem@gmail.com

tajrishy@sharif.edu

arasteh@ikiu.ac.ir

خلاصه

کشور ایران با یک سوم متوسط بارندگی جهان و ۰.۳۶ از کل منابع تجدید شونده جهان، بطور جدی با چالش کم آبی مواجه است. در این میان بخش کشاورزی با مصرف تقریباً ۹۰ درصد از منابع آب، بزرگترین رسالت را در مصرف بهینه و کارایی آب برعهده دارد. از طرفی مدیریت عرضه و تقاضا در مقیاس های منطقه ای و حوضه ای نیاز به اطلاعات در دسترس و دارای پوشش زمانی و مکانی مناسب دارد. استفاده از تصاویر ماهواره ای کلیه این خصوصیات را در تحلیل مناسب وضعیت توسعه منطقه و پایش تغییرات زمانی مصرف آب در اراضی کشاورزی در اختیار کاربران قرار می دهد. در این تحقیق با پردازش تصاویر ماهواره ای NOAA-AVHRR در ماه های مختلف در طول یکسال، روند مصرف آب در زیر حوضه قره سو در زمینهای دیم و آبی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. محاسبه تبخیر تعرق (ET) که در واقع بیانگر آب مصرفی در یک دشت زراعی است، با استفاده از الگوریتم بیان انرژی (SEBAL) انجام گرفته است. از طرفی میزان تولید محصول در منطقه نیز از تصاویر ماهواره ای استخراج گردید. با استفاده از اطلاعات فوق، کارایی آب (میزان تولید ماده خشک به ازای آب مصرفی) در اراضی دیم (۰.۳۳) و آبی (۰.۶۱) و کل حوضه آبریز (۰.۳۲) تعیین گردید. محاسبه کارایی آب در اراضی دیم و آبی و کل حوضه آبریز می تواند اطلاعات ارزشمندی از وضعیت موجود مصرف آب در اختیار مدیران و تصمیم گیران قرار دهد. در پایان جهت بدست آوردن تخمینی از دقت نتایج تبخیر تعرق حاصل از الگوریتم بیان انرژی، همبستگی نتایج تبخیر تعرق بدست آمده از RS با اندازه گیری های انجام شده توسط تشکک تبخیر بررسی شده است که نتایج قابل قبولی را در اکثر ایستگاهها نشان داده است.

کلمات کلیدی: تبخیر تعرق، شاخص پوشش گیاهی، الگوریتم بیان انرژی، کارایی آب، زیر حوضه قره سو

۱- مقدمه

محدودیت منابع آب و استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی از آن عامل اصلی محدود کننده توسعه کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی در ایران است. این مساله، لزوم اتخاذ تصمیمات مناسب در راستای هدایت مصرف آب بصورت بهینه و با حداکثر تولید اقتصادی را نشان می دهد. لذا بهبود و افزایش کارایی و سودمندی اقتصادی آب اصلی ترین راه استفاده مطلوب و بهینه از منابع آب است. با افزایش رقابت در مصرف آب، بدست آوردن درک صحیح از الگوی مصرف آب بسیار مهم است. بدین معنا که منابع آب چگونه و چه زمانی مصرف می شوند؟ موقعیتهای ذخیره آب در کجاست؟ و ... مفهوم کارایی آب، ارزش^۱ یا سود بدست آمده از کاربرد آب است. بطور کلی، کارایی آب در بخش کشاورزی بصورت نسبت کیلوگرم ماده خشک تولیدی به مترمکعب آب مصرفی تعریف می شود. اما همانطور که توسط Kijne و همکاران (۲۰۰۳) نشان داده شده است، کارایی آب مفهومی پیچیده، متکی به مقیاس و دارای تعاریف مختلف است. در مقیاس منطقه ای،

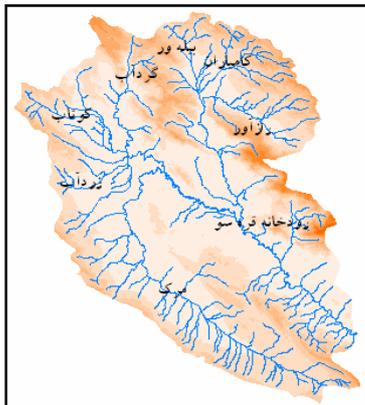
¹ . value

کارایی بصورت نسبت میزان ماده خشک (kg) به تبخیر تعرق کل (m^3) تعریف می شود. این تعریف از آنجا ناشی می شود که آب از دست رفته در اثر تبخیر تعرق، از دسترس کاملاً خارج شده و سایر ذینفعان حتی در پایین دست نیز از آن بهره مند نمی شوند. پس باید سعی شود این میزان آب، به سودمندترین حالت ممکن استفاده شود (Van Dam et al., 2003).

تصاویر ماهواره ای از آنجا که می توانند پوشش های مکانی و زمانی مختلفی را فراهم کنند، ابزاری مناسب جهت نیل به اهداف فوق را فراهم می آورند. با پیش تغییرات زمانی و مکانی مصرف آب و پوشش گیاهی در دشت های کشاورزی می توان به نتایج قابل قبولی در اتخاذ تصمیمات مناسب جهت راهبری شرایط توسعه آبیاری رسید. استفاده از فناوری سنجش از دور، امکان بررسی تغییرات مصرف آب و میزان تولید محصولات کشاورزی و در نهایت، محاسبه میزان کارایی آب در مقیاس حوضه ای را فراهم نموده است.

در این تحقیق از الگوریتم بیلان انرژی (Surface Energy Balance Algorithm for Land) که در سال ۱۹۹۵ توسط Bastiaanssen تولید شده جهت تعیین تبخیر تعرق استفاده شده است. روش SEBAL در مطالعات متعدد جهت ارزیابی نرخ تبخیر تعرق در اسپانیا، ایتالیا، ترکیه، پاکستان، هند، سریلانکا، مصر و چین مورد استفاده قرار گرفته است (Bastiaanssen, et al., 1998a; Bastiaanssen, et al., 1998b; Bastiaanssen and Bos, 1999). بعلاوه، Bastiaanssen مقایسه ای بین پیش بینی ET توسط SEBAL و اندازه گیری های داخل مزرعه انجام داده که نتایج بیانگر آن است که در ۸۵ درصد موارد، داده های حاصل از این الگوریتم با داده های مزرعه ای مطابقت داشته و لذا در مقیاس حوضه و شبکه آبیاری قابل توصیه می باشد (Bastiaanssen, et al., ۱۹۹۸). همچنین این مدل در سال ۲۰۰۰ در حوضه آبریز بیر در ایالت آیداهو امریکا جهت تخمین آب مصرفی در مزارع تحت کشت آبی بکار گرفته شد که با نتایج اندازه گیری های زمینی تطابق خوبی داشت. بنابر این، کاربردهای متعدد، توانایی روش SEBAL را رادر تخمین دقیق تبخیر تعرق روزانه اثبات نموده است. همچنین از جمله مزایای استفاده از روش SEBAL این است که نیازی به اطلاعات گسترده زمینی ندارد.

۲. منطقه مورد مطالعه



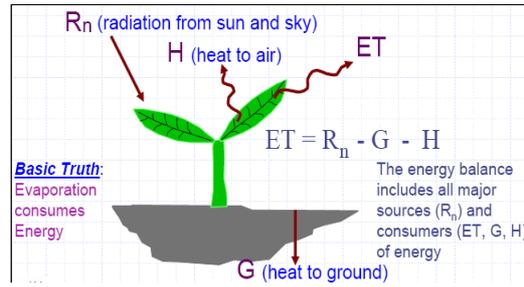
زیرحوضه قره سو در شمال غربی حوضه کرخه قرار گرفته است. وسعت این زیرحوضه ۵۷۹۳ کیلومترمربع است که ۱۱٫۴ درصد از حوضه کرخه را دربرمیگیرد. ۵۲ درصد از سطح آن را دشتهای تشکیل می دهند. جریانان اصلی در آن شامل رودخانه های مرک، قره سو و رازآور می باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است (جاماب، ۱۳۷۸).

بهره وری آبیاری در حوضه کرخه که زیرحوضه قره سو بخشی از آن را تشکیل می دهد، ۲۸-۳۶٪ است. با توجه به متوسط کارایی حوضه کرخه ۵۴٪ در مقایسه با متوسط میزان کارایی در کشور، ۶۷٪ کارایی پایین آب در حوضه کرخه از جمله مشکلات عمده منطقه است.

شکل (۱). شبکه رودخانه های زیرحوضه قره سو و توپوگرافی منطقه

۳. الگوریتم و روشها

مفهوم پایه الگوریتم بیلان انرژی (SEBAL). انرژی خالص رسیده به سطح زمین علاوه بر گرم نمودن زمین و هوای اطراف آن، صرف تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک و برگ گیاهان می گردد. این فرآیند فیزیکی که پایه الگوریتم SEBAL را تشکیل می دهد در شکل (۲) نشان داده شده است. براین اساس تابش خالص خورشیدی، منبع انرژی و H (حرارت دریافتی توسط هوا) و G (حرارت دریافتی توسط زمین) و ET (تبخیر تعرق) مصرف کنندگان انرژی هستند.



شکل (۲). مولفه های بیان انرژی در سطح زمین

شاخص پوشش گیاهی (NDVI). این شاخص نشانگر تراکم پوشش گیاهی است که با استفاده از باندهای محدوده قرمز (R) و مادون قرمز نزدیک (NIR) قابل استخراج است. رابطه NDVI با تصاویر AVHRR مطابق زیر می باشد:

$$NDVI = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_2 + \alpha_1}$$

که در آن α_1 و α_2 ضریب بازتاب سطح زمین در باندهای ۱ (قرمز) و ۲ (مادون قرمز نزدیک) می باشند. این شاخص، مقادیری بین صفر و یک دارد که هرچه مقدار آن به یک نزدیکتر باشد نشانگر تراکم بیشتر پوشش گیاهی است. با تعیین شاخص NDVI در یک منطقه می توان وضعیت تغییرات پوشش گیاهی را در منطقه نمایش داد. مقادیر بیشتر شاخص NDVI در ماههای خشک سال نسبت به محیط اطراف حاکی از کشت آبی در این مناطق است.

تبخیر تعرق (ET). الگوریتم بکار رفته در این تحقیق جهت محاسبه تبخیر تعرق در حوضه، نوشتن بیان انرژی در سطح زمین است. این رابطه به این معناست که بخشی از تشعشع خالص رسیده به سطح زمین باعث گرم شدن هوا و زمین شده و بخش دیگر صرف تبخیر تعرق می شود.

$$\lambda ET = R_n - G - H$$

که در آن λET گرمای نهان تبخیر تعرق، R_n تشعشع خالص دریافتی در سطح زمین، G جریان گرمایی زمین و H جریان گرمایی محسوس می باشند. واحد هر یک از این مولفه ها $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ است.

تشعشع خالص در سطح زمین، تفاضل تشعشع ورودی و خروجی میباشد و از روابط زیر تعیین گردید.

$$R_n = (K_{in} - K_{out}) + (L_{in} - L_{out})$$

که در آن، K_{in} تشعشع ورودی طول موج کوتاه، K_{out} تشعشع ورودی طول موج کوتاه، L_{in} تشعشع ورودی طول موج بلند و L_{out} تشعشع خروجی طول موج بلند می باشند.

جریان گرمایی زمین (G) با توجه به رابطه زیر تعیین گردید:

$$G = R_n \cdot \left\{ \frac{T_s - 273}{\alpha_s} \cdot [0.0032 \cdot (c_1 \cdot \alpha_s) + 0.0062 \cdot (c_1 \cdot \alpha_s)^2] (1 - 0.978 NDVI^4) \right\}$$

که در آن T_s دمای سطح زمین (کلوین)، α_s آلبدو باند وسیع در سطح زمین و c_1 فاکتور تبدیل مقادیر لحظه ای آلبدو به میانگین روزانه می باشند.

شار گرمایی محسوس بخشی از تابش خالص خورشیدی است که صرف گرم کردن هوا می گردد. انتقال حرارت از سطح به اتمسفر، روندی آیرودینامیک است. برآورد جریان گرمایی محسوس (H) با استفاده از رابطه زیر انجام شد:

$$H = \rho_a C_p k^2 z^2 \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \left(\frac{K_h}{K_m} \phi_m^{-2} \right)$$

k ، ثابت ون کارمن و برابر ۰.۴۱ می باشد. در ۲ تا ۳ متر ابتدای سطح زمین مقدار θ معادل T می باشد (نقل از Norman). روابط سایر مولفه ها در ادامه بیان می شود.

$$\rho_a = \frac{P}{0.287T}$$

ρ_a چگالی هوا برحسب kg/m^3 و P فشار اتمسفر برحسب Kpa می باشد.

$$T' = \frac{(T_a + 273.15)}{(1 - 0.378 \frac{e_a}{P})}$$

T_a دمای هوا برحسب درجه سانتیگراد است.

$$C_p = (1 + 0.84q) \times 1.004$$

$$q = 0.622 \frac{e_a}{P - 0.378e_a}$$

q پارامتری بدون بعد است و C_p برحسب $\text{KJ/kg}^\circ\text{K}$ می باشد.

نرخ رشد توده زنده گیاهی (BGR). از آنجاکه بخشی از انرژی خورشیدی که توسط کلروفیل گیاه جذب می گردد، در عمل فتوسنتز مؤثر است، لذا می توان نرخ رشد محصول را با برآورد میزان انرژی مؤثر در فتوسنتز تخمین زد (Parodi, 2002). نرخ رشد توده زنده گیاهی (BGR) به شرح زیر محاسبه گردید:

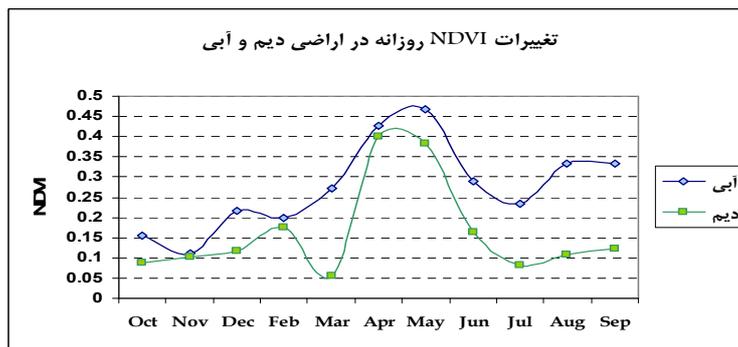
$$BGR = 1.04 \times (11.5741 \times K_{24,day}) fPAR$$

که در آن، $fPAR$ ضریب تشعشع مؤثر در فتوسنتز گیاه، $K_{24,day}$ متوسط تشعشع روزانه خورشیدی در سطح زمین MJm-2day-1 و BGR نرخ رشد گیاه ($\text{kg ha}^{-2} \text{ day}^{-1}$) می باشد.

۴. نتایج

محدوده اراضی دیم و آبی با استفاده از نقشه کاربری اراضی تولید شده در دفتر آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف مشخص گردیده است. قابل ذکر است که کاربریها در این نقشه با استفاده از تصویر Landsat با اندازه پیکسل ۳۰ متر تعیین شده و با استفاده از نقشه DEM و توجه به موقعیت رقمی نقاط، تدقیق گردیده است.

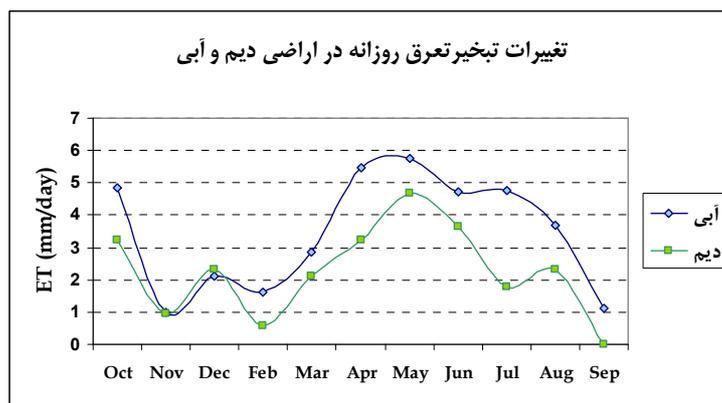
شاخص پوشش گیاهی (NDVI). همانطور که بیان گردید از جمله کاربردهای سنجش از دور تهیه نقشه های NDVI شاخصی جهت اندازه گیری میزان و شدت پوشش گیاهی در سطح زمین است. با مقایسه نقشه فوق می توان به پایش نحوه تغییرات کشت در بعد زمان و مکان پرداخت. از جمله فعالیتهای انجام شده در این تحقیق، بررسی وضعیت تغییرات NDVI در زمینهای آبی و دیم و همچنین NDVI در ماههای مختلف سال آبی ۱۹۹۵-۱۹۹۴ است. در شکل (۳) تغییرات NDVI در اراضی دیم و آبی در این سال قابل مشاهده است.



شکل (۳). تغییرات NDVI روزانه در محدوده اراضی دیم و آبی

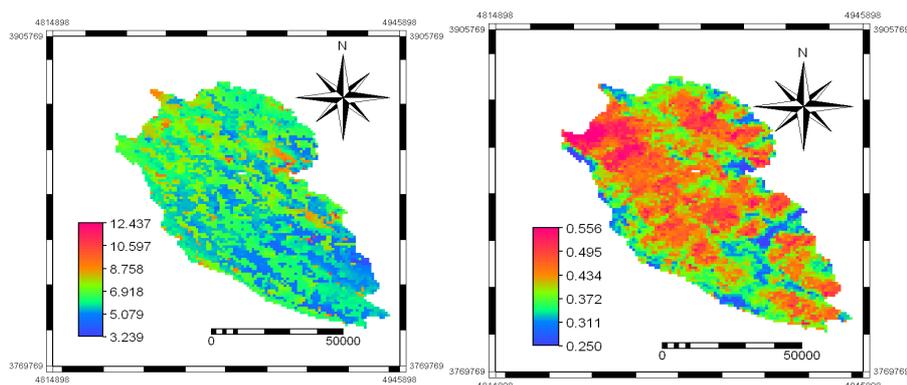
بررسی نمودارهای فوق نشان می دهد که در این منطقه دو فصل کشت پائیزه و بهاره وجود دارد. برداشت محصول پائیزه در ماه می آغاز می گردد (افت ناگهانی NDVI). محصولات بهاره نیز در ماه جولای کشت شده و در ماه های آگوست و سپتامبر به حداکثر رشد خود می رسند. در نمودارهای بدست آمده، اختلاف معنی داری بین تراکم پوشش گیاهی در اراضی دیم و آبی مشاهده می شود. همانگونه که در شکل (۳) مشخص است، شاخص پوشش گیاهی در زمینهای دیم نسبت به زمینهای تحت کشت آبی به علت تراکم و شادابی پایین تر پوشش گیاهی، مقادیر کمتری را به خود اختصاص داده است. نمونه ای از نحوه توزیع NDVI در زیرحوضه قره سو در شکل (۵) آورده شده است.

تبخیر تعرق (ET). در این بخش به ارائه نتایج تبخیر تعرق بدست آمده از الگوریتم بیلان انرژی پرداخته و تحلیل های حاصل از نتایج فوق بیان می گردد. در این مرحله، میزان مصرف آب در زمینهای کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره ایو محاسبات ذکر شده بدست آمد. این نتایج بیانگر میزان تبخیر تعرق روزانه می باشد. نتایج در شکل (۵) به تفکیک زمینهای تحت کشت دیم و آبی ارائه شده است.



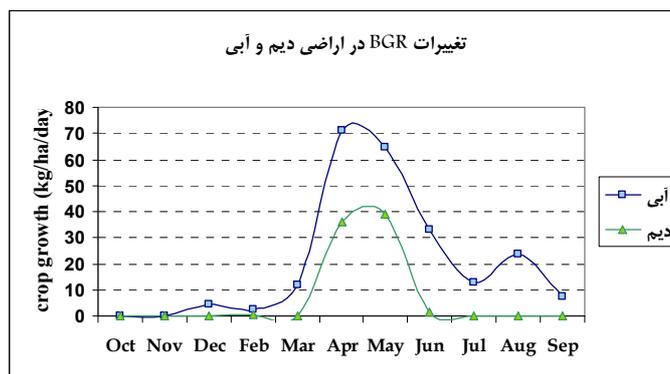
شکل (۴). نمودار تغییرات ET در زمینهای دیم و آبی

در فصل سرما که آبیاری در اراضی آبی وجود ندارد، هر دو نمودار شرایط تبخیر تعرق نسبتاً یکسانی را نشان می دهند. با شروع فصل بهار و آغاز آبیاری، اختلاف میزان تبخیر تعرق در اراضی دیم و آبی بطور چشمگیری افزایش می یابد. این اختلاف در فصل گرما که در اراضی دیم کشت انجام نمی شود و پوشش گیاهی ضعیفی حاکم است، به حداکثر میزان خود می رسد. در شکل (۵) نمونه ای از تصاویر ET که برای کل حوزه در ماه می بدست آمده نشان داده شده است.



شکل (۵). توزیع تبخیر تعرق (سمت راست) و شاخص NDVI (سمت چپ) در زیرحوضه قره سو در ماه می

نرخ رشد توده زنده گیاهی (BGR). همچنین نرخ رشد محصولات در ماههای متوالی سال آبی ۱۹۹۵-۱۹۹۴ براساس الگوریتم ارائه شده بدست آمد که نتایج آن برای کشت دیم و آبی در شکل (۷) ارائه شده است. اختلاف موجود بین نمودارهای کشت دیم و آبی نیز ناشی از تفاوت میزان محصول در اراضی فوق در اثر میزان مصرف متفاوت آب است.



شکل (۶). تغییرات نرخ رشد محصولات در اراضی دیم و آبی

کارایی در اراضی دیم و آبی. جهت تعیین کارایی آب در اراضی دیم و آبی، نسبت مجموع تولید ماده خشک ($kg\ ha^{-1}$) به مجموع میزان تبخیر تعرق انجام شده در مدت کشت (mm) محاسبه میگردد که این نتایج برای ماههای مختلف در زیرحوضه قره سو در جدول (۱) ارائه شده است.

$$WP = \frac{DM}{10ET}$$

DM، جرم ماده خشک تولیدی بر حسب kg/ha و ET، تبخیر تعرق بر حسب mm می باشند.

جدول (۱). کارایی آب در اراضی دیم و آبی (kg/m^2)

ماه	تبخیر تعرق ماهیانه در کشت آبی (mm)	میزان محصول ماهیانه در کشت آبی ($kg\ ha^{-1}$)	تبخیر تعرق ماهیانه در کشت دیم (mm)	میزان محصول ماهیانه در کشت دیم ($kg\ ha^{-1}$)
October	۱۵۰.۷	۰	۱۰۰.۱۳	۰
November	۲۹.۷	۰	۲۸.۸	۰
December	۶۵.۱	۱۳۶.۴	۷۱.۳	۰
February	۴۵.۴	۶۸.۳	۱۶.۸	۱۰.۱
March	۸۸	۳۷۰.۱	۱۴۳.۸	۰
April	۱۶۴.۱	۲۱۳۳.۳	۹۷.۵	۱۰۸۴.۵
May	۱۷۷.۹	۲۰۰.۶	۱۴۵.۱	۱۲۰۳.۷
June	۱۴۱.۳	۹۹۷.۸	۱۰۹.۵	۴۳.۲
July	۱۴۷.۵۶	۳۹۰.۶	۵۵.۸	۰
August	۱۱۴.۴	۷۳۹.۰۴	۷۱.۳	۰
September	۳۳.۳	۲۱۶.۹	۰	۰
مجموع	۱۱۵۷.۵	۷۰۵۸.۵	۷۱۳	۲۳۴۱.۶
کارایی	۰.۶۱		۰.۳۳	

۵- بررسی دقت نتایج تبخیر تعرق

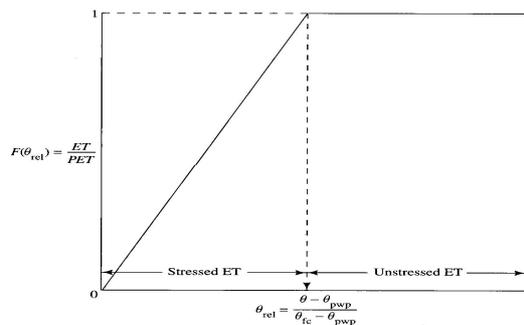
از آنجا که اندازه گیریهای تبخیر تعرق بوسیله لیسیمتر^۳ در منطقه مورد مطالعه در دسترس نبود، جهت بدست آوردن تخمینی از دقت نتایج حاصل از الگوریتم بیلان انرژی، همبستگی نتایج ET با اندازه گیریهای تبخیر تعرق بررسی گردید. تبخیر اندازه گیری شده توسط تشتک تبخیر (ET_o) بر اساس رابطه زیر، ارتباطی خطی با تبخیر تعرق گیاه مرجع (ET_c) دارد:

$$ET_o = K_p E_p$$

که در آن K_p ضریبی ثابت است که به نوع تشتک و فاکتورهای دیگر بستگی دارد. همچنین رابطه تبخیر تعرق پتانسیل هر محصول (ET_c) و تبخیر تعرق گیاه مرجع نیز رابطه ای خطی است:

$$ET_c = K_c ET_o$$

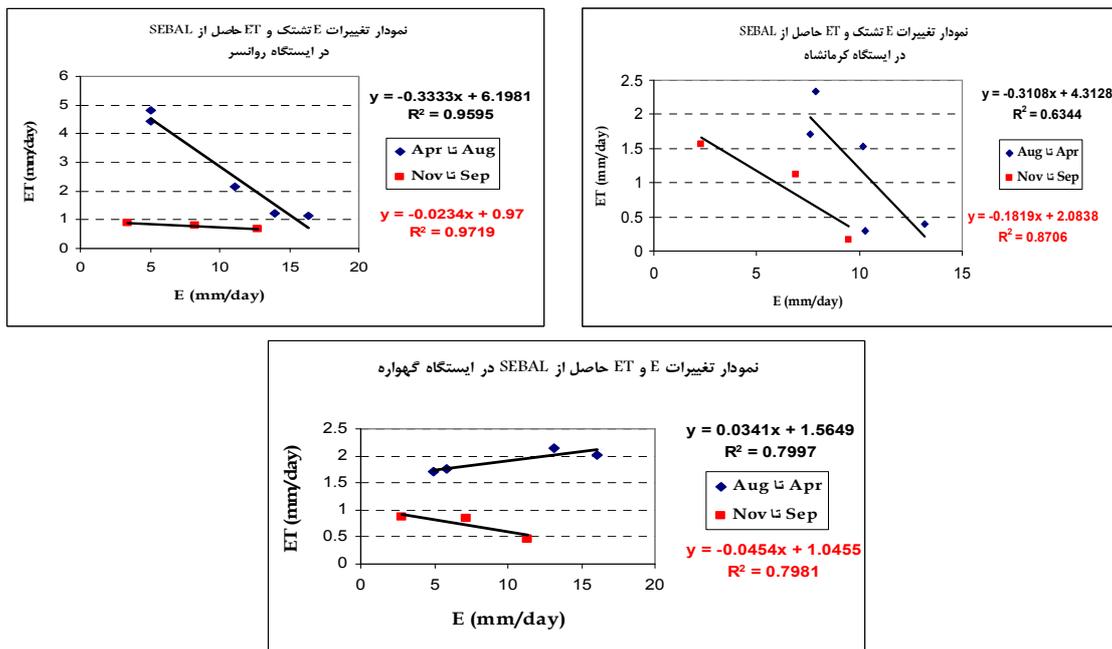
که در آن K_c ضریبی ثابت است که بطور تجربی در مورد گیاهان مختلف بدست می آید. فرم کلی رابطه بین ET_c (تبخیر تعرق پتانسیل) و ET (تبخیر تعرق واقعی) مطابق شکل (۸) می باشد. همانطور که در شکل مشخص است رابطه این دو پارامتر خطی بوده و به میزان رطوبت خاک بستگی دارد. در شرایط تنش آبی با افزایش رطوبت خاک، نسبت ET/ET_p بطور خطی افزایش پیدا میکند. در وضعیتی که محدودیت آب وجود ندارد این نسبت ثابت می شود (Dingman, 2002).



شکل (۷). فرم کلی رابطه بین ET/ET_p و رطوبت خاک

بنابراین می توان رابطه ای خطی بین تبخیر اندازه گیری شده در تشتک و تبخیر تعرق واقعی محصولات بدست آمده از تصاویر معین کرد. این رابطه در محدوده تاثیر کلیه ایستگاه های واقع در زیر حوضه قره سو که دارای داده های تبخیر هستند و شامل ایستگاههای کرمانشاه، روانسر، پل چهر، قروه، ماهیدشت، دو آب مرک و روانسر (نهر اصلی) می باشند بدست آمد. جهت انجام این بررسی، ماه های سال به دو دسته ماه های دارای پتانسیل تبخیر بالا (فصول گرم، از آوریل تا آگوست) و ماههای دارای پتانسیل تبخیر پائین (فصول سرد، از سپتامبر تا مارس) تقسیم گردید. بدین ترتیب، همبستگی مقادیر تبخیر تعرق حاصل از الگوریتم SEBAL و مقادیر تبخیر اندازه گیری شده در ایستگاه های موثر بر تبخیر زیر حوضه بررسی گردید. شکل (۹) نتایج این بررسی را در سه ایستگاه بعنوان نمونه نشان می دهد. لازم به ذکر است که عمده ایستگاه ها در ماه های دسامبر تا فوریه فاقد آمار می باشند. بررسی این نتایج، همبستگی مناسبی را بین مقادیر تشتک تبخیر و بدست آمده از تصاویر نشان می دهد. بنابراین این نتیجه تخمین خوبی از دقت نتایج تبخیر تعرق بدست آمده از سنجش از دور ارائه می دهد.

³ . Lysimeter



شکل (۸). نمودار تغییرات تبخیر اندازه گیری شده و تبخیر تعرق بدست آمده از الگوریتم بیلان انرژی

۶- نتیجه گیری

استفاده از تصاویر ماهواره ای جهت محاسبه تبخیر تعرق واقعی دارای کاربردهای گوناگونی از جمله بررسی کارایی آب در اراضی کشاورزی، بررسی بیلان حوضه و مدیریت توسعه آبیاری است. استفاده از سنجش دور در تعیین کارایی آب در مقیاس وسیع حوضه ای نتایج قابل قبولی را در مقایسه با واقعیت نشان می دهد. نتایج این تحقیق نشانگر آن است که استفاده از تصویر ماهواره ای و الگوریتم SEBAL ابزار مناسبی جهت تخمین مصرف آب و کارایی در مقیاس حوضه است و نتایج بدست آمده می تواند مبنای تصمیمات برنامه ریزی و مدیریت قرار گیرد.

۷- مراجع

- 1- Kijne, J., R. Barker and D. Molden (Eds.), (2003). Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CABI press, Wallingford, UK (in press).
- 2- van Dam, J.C., Malik, R.S. (2003). Water productivity of irrigated crops in Sirsa district, India. International Water Management Institute (IWMI).
- 3- Bastiaanssen, W.G.M. (1995). Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain, Ph.D. thesis, Agriculture University. Wageningen, The Netherlands.
- 4- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes R.A., and Holtslag, A.A.M. (1998a). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1-Formulation. Journal of Hydrology, 212/213: 198-212.
- 5- Bastiaanssen, W.G.M., Pelgrum, H., Wang J., Ma, Y., Moreno, J.F., Roerink, G.J., and Vander Wal, T. (1998b). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2-Validation. Journal of Hydrology, 212/213: 213-229.

۶- طرح جامع آب کشور، حوزه آبریز کرخه، ۱۳۷۸.

- 7- Dingman, L.S. (2002). Physical hydrology. Upper Saddle River, New Jersey.