



بررسی اهمیت و نقش الگوریتم SEBAL در استفاده بهینه از منابع آب حوزه‌های آبخیز

سمانه پورمحمدی^۱، محمدتقی دستورانی^۲، سیدعلی محمد چراغی^۳، محمدحسین مختاری^۴

۱-به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، ۲- دانشگاه یزد، عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست

دانشگاه یزد، ۳- استادیار پژوهش مرکز ملی تحقیقات شوری، ۴- مربی دانشکده کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه یزد

s.poormohammadi@yahoo.com

Study the importance and role of SEBAL algorithm in efficient use of catchments' water resources

S. Poormohammadi, M.T. Dastorani, S.A.M. Cheraghi, M.H. Mokhtari,

1-MSc student of desert management, Yazd University, 2-Faculty member of Agriculture and natural resource department, Yazd University, 3- Faculty member, National Salinity Research Center (NSRC) 4. Agriculture and natural resource department, Yazd University

چکیده

یکی از ضرورت‌های هر حوزه آبخیز مدیریت منابع آب آن ح وزه است. در همین راستا تخصیص مقداری از آب استحصال شده در حوزه به نیاز آبیاری محصولات زراعی، باغی و نیز پوشش‌های گیاهی طبیعی حوزه از مواردی است که به علاوه بر حفظ پوشش‌های گیاهی و نیز پایداری کشاورزی در منطقه، به دوام خاک و جلوگیری از فرسایش نیز کمک زیادی می‌کند. با توجه به حضور انواع مختلف پوشش‌های گیاهی و آن‌هم در سطوح وسیع، محاسبه دقیق نیاز آبی از طریق روش‌های متداول محاسبه تبخیر و تعرق (ET) امری دشوار و غیر ممکن می‌نماید. در همین راستا به روش‌هایی نیاز است که قادر به محاسبه نیاز آبی گیاهان در مقیاس وسیع (حوزه) بوده و نیز از دقت کافی برخوردار باشند. هدف از ارائه تحقیق حاضر معرفی و بیان مزایای یکی از الگوریتم‌های توازن انرژی به نام سبال (SEBAL) است که امروزه کاربرد زیادی در محاسبه نیاز آبی گیاهان دارد. بدین منظور ابتدا به معرفی این روش پرداخته و سپس به نمونه‌هایی از کاربردهای موفق این الگوریتم در مناطق مختلف دنیا اشاره شده است. نهایتاً بر اساس مرور منابع مختلف علمی در این زمینه و نتایج عاید شده از مطالعات مختلف بر روی این الگوریتم، به جایگاه این مدل در محاسبه نیاز آبی محصولات کشاورزی و پوشش‌های مرتعی و نهایتاً مدیریت منابع آب حوزه اشاره گردیده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم سبال علاوه بر صرفه اقتصادی بالا نسبت به سایر روش‌های متداول، کارایی بالایی داشته و می‌تواند نقش مهمی در مدیریت آب و تخصیص سهمی از آب استحصال‌ی حوزه به نیاز آبی گیاهان همان حوزه ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: توازن انرژی، تبخیر و تعرق، سبال، مدیریت منابع آب، حوزه آبخیز

مقدمه

روش‌هایی که جهت محاسبه تبخیر و تعرق به کار برده می‌شوند در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند که عبارتند از روش‌های مستقیم و روش‌های محاسبه‌ای. در روش‌های محاسبه‌ای که می‌توان آنها را روش‌های غیر مستقیم نیز دانست از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از روی ارتباط آنها با تبخیر و تعرق و معادله‌هایی که قبلاً با روش‌های مستقیم واسنجی شده اند، تبخیر و تعرق پوشش گیاهی مورد نظر

تخمین زده میشود (علیزاده ۱۳۸۳). روشهای محاسبه‌ای خود شامل چندین گروه می‌باشد که هر کدام از نظر داده‌های مورد لزوم نیازهای متفاوتی دارند. بطور خلاصه باید گفت که تعدادی از این روشها اساس فیزیکی داشته و تعدادی فقط از روی تجربه بدست آمده‌اند. این روشها کلاً در چهار گروه به نام روش آیرودینامیک، روش توازن انرژی، روش ترکیبی و روشهای تجربی تقسیم بندی می‌شوند. در تحقیق حاضر به معرفی و کاربرد روش توازن انرژی در محاسبات تبخیر و تعرق پرداخته می‌شود. آنچه که قبلاً در مورد روش توازن انرژی عنوان می‌شد این بود که این روش عمدتاً جنبه تحقیقاتی دارد و عملاً کمتر در مطالعات تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار می‌گیرد (علیزاده ۱۳۸۳). اما بدلائل مختلفی که در این مقاله اشاره خواهد شد امروزه استفاده از این روش جهت محاسبات تبخیر و تعرق در مقیاسهای مختلف (از مقیاس مزرعه‌ای گرفته تا یک حوزه و یا منطقه وسیع‌تر) در حال رواج و توسعه است. هدف از تحقیق حاضر معرفی یکی از الگوریتمهای توازن انرژی به نام سبال^۱ است که کاربرد بیشتری نسبت به سایر الگوریتمهای توازن انرژی پیدا نموده است. همچنین در این مقاله به کاربردهای مختلف این الگوریتم با تاکید بر مدیریت منابع آب در مقیاس وسیع نیز اشاره خواهد شد.

مواد و روشها

در این تحقیق ابتدا به معرفی مدل سبال پرداخته می‌شود و سپس به نمونه‌هایی از کاربردهای موفق این مدل در مناطق مختلف دنیا چه در داخل و چه در خارج از کشورمان اشاره خواهد شد. سپس به دستاوردهای عمده‌ای که در طی تحقیقات مختلف در این زمینه حاصل شده است خواهیم پرداخت. نهایتاً بر اساس مرور منابع مختلف علمی در این زمینه و نتایج عاید شده از مطالعات مختلف بر روی این الگوریتم، به اهمیت و نقش این مدل در برنامه ریزیها و مدیریت آب حوزه‌های آبخیز اشاره خواهد شد. نهایتاً با انجام یک ارزیابی جامع از مدل سبال پیشنهادات عملی و علمی در زمینه بکارگیری این مدل ارائه خواهد گردید.

سبال (الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین^۲) مدلی مبتنی بر پردازش تصویر بوده که مشتمل بر بیست و پنج زیرمدل جهت محاسبه تبخیر و تعرق (ET) به عنوان باقیمانده بیلان انرژی سطحی زمین است. این مدل توسط باستانسن در کشور هلند معرفی و همچنین برای منطقه کوهستانی آیداهو نیز با تکیه بر مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در سطح زمین مورد بسط و توسعه واقع شده است.

مدل سبال از اطلاعات تصاویر رقومی اخذ شده توسط ماهواره لندست یا سایر سنجنده‌های سنجنش از دوری که قادر به ثبت تشعشعات مادون قرمز حرارتی و همچنین تشعشعات مرئی^۳ و نزدیک مادون قرمز^۴ می‌باشند استفاده می‌نماید. مقدار ET در هر پیکسل (به عنوان مثال هر ۳۰*۳۰ متر مربع تصویر لندست TM و ETM+) برای لحظه‌ای خاص که همان زمان اخذ تصویر میباشد محاسبه میگردد. فرایند محاسبه بر اساس توازن کامل انرژی استوار است که در آن مقدار ET از کسر نمودن مقدار انرژی باقیمانده از معادله کلاسیک بیلان انرژی بدست می‌آید. لذا مقدار ET برابر با تشعشع خالص منهای گرمای وارده به خاک منهای گرمای وارده به هوا خواهد شد. جزئیات بیشتر این مدل توسط باستانسن و همکارانش [۸] و تاسومی و همکارانش [۱۵] ارائه شده است، اما معادله کلی مورد استفاده در سبال به صورت زیر است:

$$LE=R_n-H-G$$

(۱)

^۱ -SEBAL

^۲ -Surface Energy Balance Algorithm for Land

^۳ -Visible

^۴ -Near Infra Red (NIR)

که در این فرمول LE شار گرمای نهان بر حسب (Wm^{-2}) است که به راحتی قابل تبدیل به ET میباشد، R_n تابش خالص خورشیدی است (Wm^{-2}) ، H شار گرمای محسوس (Wm^{-2}) و G شار گرمای زمین یا خاک (Wm^{-2}) می باشد. از این فرمول اینچنین استنباط میگردد که تابشی که از جو به سطح زمین میرسد به سه قسمت مجزا میشود. بخشی صرف گرم کردن زمین یا خاک شده بخش دیگری صرف گرم کردن هوای مجاور سطح زمین میشود و بقیه مقدار انرژی باقیمانده منجر به تبخیر و تعرق میگردد. در واقع هدف سبب محاسبه شار گرمای نهان (LE) میباشد که همان ET واقعی محسوب می گردد.

لازم به ذکر است که دقت واقعی نتایج حاصله برای LE (یا ET) متأثر از تدقت باند با طول موج کوتاه و نیز باند ترمال ماهواره است. در معادله شماره ۱ تشعشع خالص از معادله توازن انرژی سطحی زمین به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R_n = (1 - \alpha) R_s + (eL_{in} - L_{out}) \quad (2)$$

که در آن α آلبیدوی سطحی، R_s تابش خورشیدی (Wm^{-2}) ، e بازتابش سطح زمین (انتشار)، L_{in} و L_{out} تابش ورودی و خروجی به زمین به صورت امواج با طول موج بلند می باشد (Wm^{-2}) . مقدار α با اختلاط بازتابشهای طبیعی حاصله از شش باند با طول موج کوتاه در ماهواره لندست بدست می آید، و L_{in} و L_{out} به عنوان تابعی از دمای سطحی در نظر گرفته میشوند که از تصویر ماهواره ای قابل استخراج است. مقدار e توسط شاخصهای گیاهی ایجاد شده از دو باند با طول موج کوتاه بدست می آید. مقادیر پتانسیل R_s برای هر پیکسل دارای شیب مشخص با استفاده از منحنی های تئوری آسمان صاف قابل تعیین می باشند (آلن و همکاران ۱۹۹۷).

شار گرمایی خاک یا G (Wm^{-2}) نیز به صورت تجربی و با استفاده از معادله باستانسن و همکاران (۲۰۰۲) قابل تخمین است که این معادله بر اساس آلبیدو (α)، دمای سطحی زمین و یک شاخص گیاهی با نام NDVI قابل محاسبه می باشد:

$$G = \left[\frac{T_s - 273.16}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \right] R_n \quad (3)$$

که در این معادله T_s دمای سطحی زمین بر حسب کلونین می باشد. شاخص NDVI نیز به کمک باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک حاصل می شود که فرمول آن به صورت زیر خواهد بود:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (4)$$

مقدار شار گرمای محسوس یا H (Wm^{-2}) از سرعت باد و دمای سطحی زمین و با بکارگیری یک "کالیبراسیون درونی" منحصر به فرد متشکل از اختلاف دمای سطح زمین و دمای هوای مجاور (dT) حاصل می شود. این روش توسط فرمول باستانسن و همکارانش (۲۰۰۲) قابل محاسبه است:

$$H = \frac{\rho_{air} C_p (a + b.T_s)}{r_{ah}} \quad (5)$$

که در این معادله ρ_{air} چگالی هوا (kg/m^3) است که تابعی از فشار اتمسفریک می باشد. C_p ظرفیت گرمای ویژه هوا $(1004 Jkg^{-1} K^{-1})$ ، r_{ah} مقاومت آئرو دینامیکی در مقابل انتقال گرماست $(s m^{-1})$. مقدار T_s نیز دمای سطحی زمین بر حسب کلونین است و a و b ضرایب تجربی است که برای هر تصویر قابل محاسبه است. جزء $a+bT_s$ در معادله بیانگر اختلاف دمای سطح زمین با هوای مجاور آن (dT) است که با محاسبه درجه حرارت فاصله بین نزدیک سطح زمین و ارتفاع حدود ۲ متری از سطح زمین حاصل می شود. استفاده از اختلاف دما

(یا به عبارتی دیگر گرادیان) مشکلاتی را که بواسطه اختلاف عددی بین دمای سطحی آئرودینامیک و رادیومتریک بوجود می آید را برطرف می نماید.

تعریف ضرایب a و b نیازمند انتخاب دو پیکسل حد نهایی^۵ در یک تصویر می باشد که به پیکسلهای سرد و گرم معروفند، مقادیر dT با داشتن مقدار H در هر یک از این دو پیکسل میتوانند به صورت برگشتی^۶ محاسبه شوند. در مدل متداول سبال مربوط به آقای باستیانسن، اپراتور مقدار T_s را از یک منطقه با آب سطحی که به عنوان "پیکسل سرد" مدل سبال شناخته می شود، انتخاب می نماید. یک پیکسل گرم یا خشک نیز (که معمولاً سطح خاک لخت انتخاب میشود) انتخاب می گردد. مقدار گرمای محسوس پیکسل سرد صفر و پیکسل گرم برابر با $R_n - G$ فرض می شود. ضرایب a و b موجود در معادله (۵) برای هر تصویر و با استفاده از یک درون یابی خطی کالیبره می شوند که بر اساس مقدار T_s در هر یک از این دو پیکسل سرد و گرم صورت می گیرد. به منظور روشن شدن نحوه بکارگیری پیکسلهای حد نهایی به ذکر یکی از موارد کاربردی الگوریتم سبال در منطقه آیداهو می پردازیم. در بکارگیری سبال در منطقه آیداهو، یک مزرعه با پوشش کامل که به سطح مرجع گیاه یونجه تشبیه شده بود، به عنوان پیکسل سرد انتخاب گردید و مقدار ET برای این پیکسل همان مقدار ET گیاه مرجع یونجه یا ET_r فرض شد. مقدار ET_r به کمک داده های هواشناسی محلی بدست آمد. بنابراین گرمای محسوس پیکسل سرد در پروژه آیداهو به صورت $R_n - G - LE$ محاسبه گردید که در آن LE برای هر پیکسل برابر با ET_r آن پیکسل قرار داده شد. در پروژه آیداهو مقدار H در پیکسل گرم برای هر مقدار از تبخیری که بواسطه وقوع بارندگیهای اخیر باقی مانده تصحیح گردید. این مقدار توسط حل مدل بیلان روزانه آب لایه سطحی که توسط فائو ۵۶ ارائه شده است [۴] قابل تعیین می باشد.

از آنجایی که شار گرمای نهان (LE) در زمان اخذ تصویر توسط معادله ۱ قابل تخمین است، مقداری با عنوان جز تبخیر (EF) نیز در مدل متداول سبال به صورت زیر قابل محاسبه خواهد شد:

$$EF = \frac{LE}{R_n - G} \quad (6)$$

اما در مدل سبال پروژه آیداهو به جای مقدار EF ، جزئی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع (یا به عبارتی $ET_r F$) که بیانگر نسبت بین ET هر پیکسل به ET_r که توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا تعریف شده، مورد محاسبه و بکارگیری قرار گرفته است. این مقدار که همان ضریب گیاهی یا K_c محسوب می گردد به صورت زیر خواهد بود:

$$ET_r F = K_c = \frac{ET}{ET_r} \quad (7)$$

که ET_r همان تبخیر و تعرق گیاه مرجع یونجه است که توسط آمار هواشناسی و به روش پنمن-مونتیث استاندارد شده توسط ASCE به صورت ساعتی محاسبه شده است. با توجه به نتایج تحقیق انجام شده در منطقه آیداهو مشخص گردید که رابطه بین مقادیر روزانه و ساعتی جزء تبخیری گیاه مرجع بسیار بالا بوده و میتوان به جای مقادیر ساعتی از مقادیر روزانه این ارقام نیز استفاده کرد. وجود این مشابهت ها بین ET لحظه ای و ۲۴ ساعته توسط افرادی چون شاتل ورث و همکاران (شاتلورث ۱۹۸۹)، کراگو (۱۹۹۶) مشاهده شده است. جهت تعیین مقادیر ماهانه و فصلی ET و $ET_r F$ ابتدا از درونیابی خطی $ET_r F$ برای دوره های بین زمان دو تصویر استفاده و تخمین

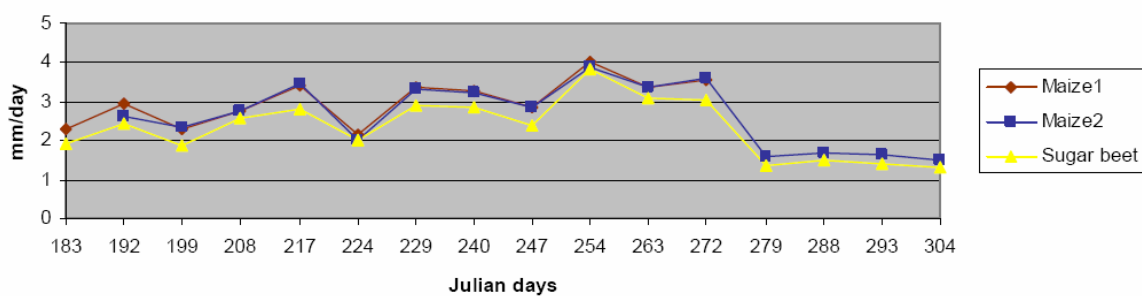
⁵ -extreme

⁶ -backward

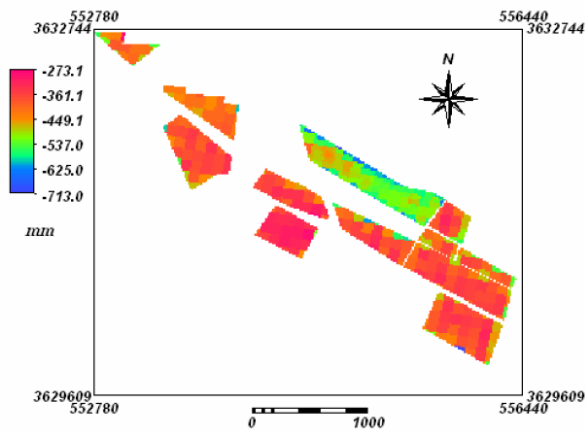
صورت می‌گیرد و سپس مقدار ماهانه یا فصلی آنها محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که دقت مکانی مقادیر محاسبه شده ET و ET_c منطبق بر دقت مکانی تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در مدل می‌باشد.

نتایج:

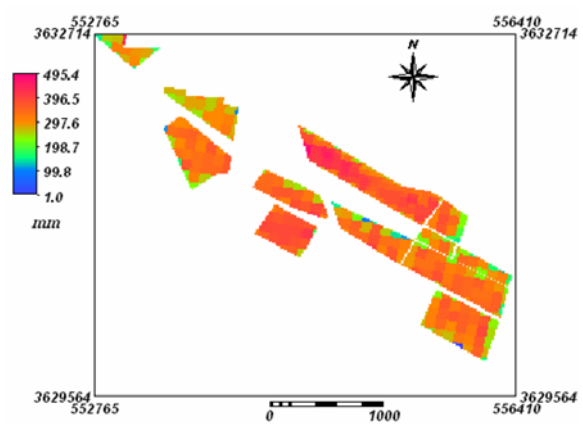
همانطوری که اشاره شد یکی از پارامترهایی که در مدیریت منابع آب اهمیت دارد و جزء مواردی است که بدون آن قادر به مدیریت آب در منطقه نخواهیم بود، تبخیر و تعرق واقعی پوششهای گیاهی (ET_{act}) است. میزان تبخیر و تعرق صورت گرفته از یک منطقه که می‌تواند یک یا چند مزرعه کشاورزی یا پهنه ای از مراتع و یا کل یک حوزه آبخیز باشد، هم به صورت ارتفاع آب (بر حسب میلیمتر) و هم به صورت حجمی (متر مکعب) قابل ارائه است. همانطوری که در معرفی سبال عنوان شد، تعیین تبخیر و تعرق واقعی یکی از خروجی های مورد انتظار این الگوریتم است. همچنین در صورت داشتن تصاویر ماهواره ای روزانه از منطقه مطالعاتی قادر خواهیم بود تا تبخیر و تعرق را به صورت پیوسته تعیین کنیم. این توانایی یکی از مهمترین مزایای الگوریتم سبال محسوب می‌شود. البته باید اشاره نمود که ابزارهای قدیمی تر مانند لایسیمترها و سایر وسایل اندازه گیری بیلان رطوبت نیز قادر به تولید چنین داده‌هایی هستند، اما هیچگاه اعداد حاصله توسط آنها گستردگی مکانی نداشته و به یک یا چند نقطه محدود در منطقه تعلق خواهند داشت. حال آنکه توسط مدل سبال تبخیر و تعرق پهنه وسیعی از یک دشت یا حوزه آبخیز قابل محاسبه خواهد بود. به عنوان مثال در تحقیق صورت گرفته توسط آقای مختاری (۲۰۰۵) تبخیر و تعرق واقعی گیاهان ذرت و چغندر قند در منطقه بُرخار اصفهان محاسبه شده که در آن از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره ای مودیس و آستر استفاده شده است (شکل ۱). نقشه مربوط به تبخیر و تعرق مزارع مورد نظر نیز در این تحقیق ترسیم گردیده است که در شکل شماره ۲ آورده شده است. همچنین به کمک نتایج بدست آمده اقدام به تعیین میزان کمبود آب گیاهان منطقه در هر یک از مقاطع زمانی مختلف شده است. نقشه کمبود آب گیاه در کل طول دوره رشد که از تفاضل تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی بدست آمده در شکل شماره ۳ آورده شده است.



شکل ۱- میانگین تبخیر و تعرق واقعی گیاه ذرت و چغندر قند در منطقه بُرخار اصفهان که توسط الگوریتم سبال و استفاده همزمان از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و آستر محاسبه شده است (به نقل از مختاری، ۲۰۰۵)



شکل ۳- نقشه کمبود آب در مزارع ذرت و چغندر قند مربوط به کل طول دوره رشد در منطقه برخار اصفهان (به نقل از مختاری، ۲۰۰۵)

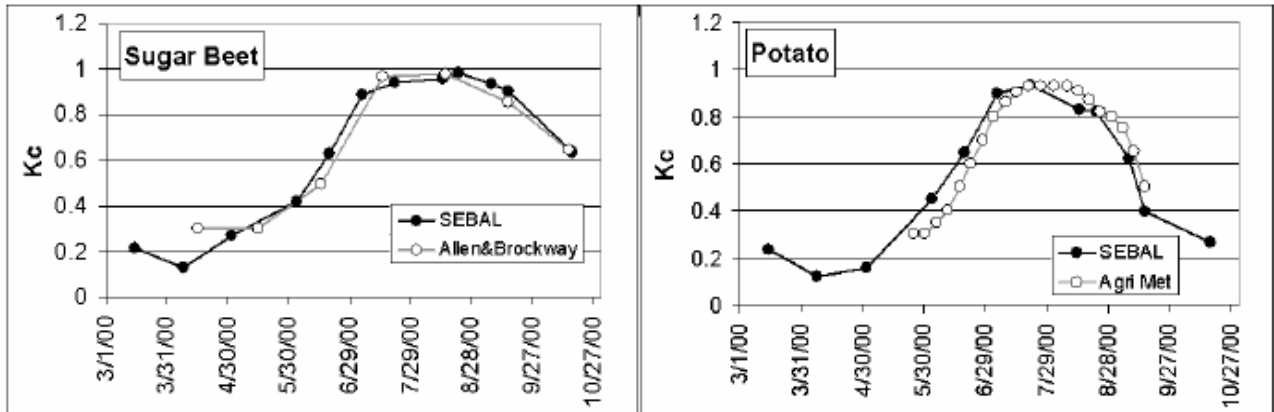


شکل ۲- نقشه تبخیر و تعرق مزارع ذرت و چغندر قند در منطقه برخار اصفهان که توسط آگوریتم سبال محاسبه شده است (به نقل از مختاری، ۲۰۰۵)

در تحقیقات مشابه دیگری نیز میزان تبخیر و تعرق واقعی به کمک روش توازن انرژی بدست آمده و نتایج رضایت بخشی از آن حاصل گردیده است. به عنوان مثال می توان به تحقیق اصغرزاده و ثنایی نژاد (۱۳۸۵) که در حوزه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه انجام شد اشاره کرد. در این تحقیق از تصاویر ماهواره ای **Landsat 7 ETM+** نقشه توپوگرافی و نیز پوشش گیاهی منطقه و همچنین داده های هواشناسی استفاده شده است. در تحقیقی دیگر که در مزرعه نمونه ارتش واقع در استان گلستان انجام شد از تصاویر ماهواره ای **MODIS** و الگوریتم سبال استفاده و تبخیر و تعرق منطقه مورد نظر محاسبه گردیده است (مباشری و همکاران ۱۳۸۴).

در صورتی که هدف از تعیین میزان آب مصرفی انجام برنامه ریزی و مدیریت آبیاری یک منطقه باشد، نیاز است تا تصاویر مورد استفاده از دقت مکانی خوبی برخوردار باشند و در آنها مرزهای مزارع مختلف و یا تپه های پوشش گیاهی قابل تشخیص باشند. تعیین ET در مقیاس مزرعه ای^۷ این امکان را نیز می دهد تا ضرایب گیاهی (K_c) جدیدی را نیز برای یک منطقه خاص تعریف نماییم. الگوریتم سبال در این زمینه نیز نتایج بسیار خوبی داده است (شکل شماره ۴). لازم به ذکر است که ضریب گیاهی یکی از پارامترهای مهم در محاسبات تبخیر و تعرق واقعی به کمک اطلاعات اقلیمی است که همواره با شک و تردیدهای زیادی همراه بوده است. این ضریب برای هر گیاه منحصر به فرد نبوده و در شرایط مختلف آب و هوایی تغییر می کند. لذا داشتن داده های صحیح در این زمینه کمک شایانی به برنامه ریزیهای آبیاری خواهد کرد.

⁷ -Field scale ET

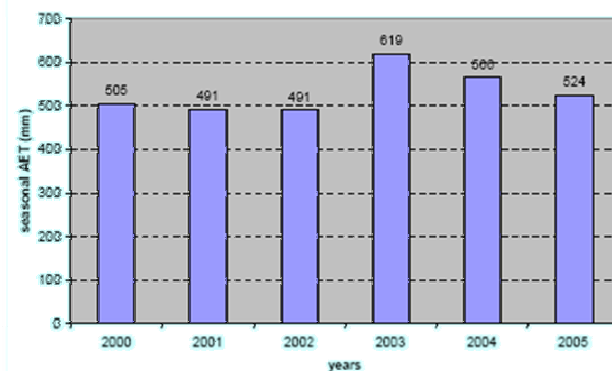


شکل ۴- منحنی های ضریب گیاهی (Kc) چغندر قند و سیب زمینی که توسط مدل سبال (۲۰۰۰) محاسبه شده و هر یک به ترتیب با نتایج حاصله از روشهای آلن و بروکوی (۱۹۸۳) و داده های اقلیمی (۲۰۰۲) در منطقه آیداهوی آمریکا مقایسه گردیده است (به نقل از تاسومی و همکارانش، ۲۰۰۳).

بی شک مدیریت مسایل مربوط به آب در هر حوزه نیازمند داشتن داده های دقیق و کافی در این زمینه است تا بتوان حجم مناسبی از آب حوزه را به نیاز آبی پوششهای گیاهی همان حوزه اختصاص داد و برای مصرف بهینه آنها برنامه ریزی نمود. میزان تقاضای آب^۸ در هر منطقه عامل اصلی تعریف چارچوبها، ضوابط و معیارهای برداشت آب از مخازن موجود بوده که در صورت برداشت بی رویه از آنها مسایل بحران آب گریبانگیر حوزه مورد نظر خواهد شد. میزان تقاضای آب در مناطق کشاورزی و عرصه های طبیعی وابسته به نیاز آبی گیاهان موجود در آن منطقه است و همانطوری که در ما قبل اشاره گردید، الگوریتم سبال می تواند کمک شایانی در این زمینه نماید. به عنوان یکی از کاربردهای این الگوریتم در مدیریت جامع آب به نتایج پروژه ای اشاره می شود که در حوزه رودخانه بیر در آمریکا انجام شده است. این رودخانه آب مورد نیاز آبیاری سه ایالت آیداهو، یوتا و ویومینگ را تامین می کند. در سال ۱۹۵۸ پیمان نامه ای تنظیم شد که در آن بر نحوه تخصیص مساوی آب رودخانه بین این سه ایالت تاکید شده بود. در فوریه ۱۹۸۰ این پیمان نامه به تایید قانون فدرال رسیده و مقرر شد که بر اساس میزان نیاز آبیاری هر ایالت (یا ET)، میزان آب برداشت شده از رودخانه را محاسبه نمایند. در سال ۲۰۰۰ که سال اول اجرای این پروژه محسوب می شد نقشه های ET به صورت ماهانه و با کمک سبال تهیه شد. برای این کار از دو تصویر لندست که کل حوزه را پوشش می دادند استفاده گردید (مورس و همکاران ۲۰۰۳). از آنجایی که اطلاعات لایسیمیتری در منطقه از سال ۱۹۸۵ موجود بودند (هیگل و همکاران ۱۹۸۹) و می توانند جهت محاسبات ET در سبال مورد استفاده قرار گیرند، لذا داده های ماهواره ای لندست از سال ۱۹۸۵ به بعد نیز تهیه و مورد استفاده واقع شدند. اطلاعات ET اخذ شده از مدل سبال به صورت میلیمتر در ماه ارائه شدند و همچنین ضرایب گیاهی (Kc) یا ET/ET_r نیز بدست آمدند. نتایج این تحقیق که شامل نقشه های ET ماهانه و فصلی کل حوزه بودند جهت محاسبه کل آب مصرفی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان داد که مقادیر ET ماهانه پیش بینی شده نسبت به داده های لایسیمیتری حدود ۱۶٪ ± تفاوت داشت، در حالی که همین اختلاف در مورد داده های فصلی تبخیر و تعرق به ۴٪ ± می رسید.

⁸ -water demand

سپس با وارد نمودن نقشه های ET به محیط GIS و سپس تلفیق همه آنها در مناطق تحت آبیاری، کل تخلیه خالص صورت گرفته از رودخانه محاسبه گردید. در یک نمونه مشابه نیز اقدام به تعیین آب مصرفی توسط پوشش گیاهی در دو حوزه رودخانه‌های معروف افغانستان یعنی کابل و هیلمند شده است (سنو و همکاران ۲۰۰۷). در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ میلادی استفاده شده است. نتایج این تحقیق علاوه بر نشان دادن تغییرات زمانی مصرف آب در منطقه (شکل شماره ۵)، توزیع مکانی مصرف آب در حوزه را نیز نشان داده است. با اطلاع از نحوه توزیع مکانی نیاز آبی در هر منطقه می‌توان اقدام به جانمایی تاسیسات آبیگری در منطقه نمود. طراحی مناسب هیدرولیکی سازه‌های آبی بر اساس تقاضای آب در هر ناحیه (زیر حوزه) و نهایتاً مدیریت بهینه آب در کل حوزه از جمله اقدامات قابل اجرا در این زمینه است.



شکل ۵- میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاهان در فصل پیک سالهای مختلف (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵) در یکی از زیر حوزه های رودخانه کابل در افغانستان (به نقل از سنای و همکاران، ۲۰۰۷)

نتیجه گیری و بحث:

با توجه به آنچه که در این مقاله بدان اشاره گردید، مشخص می‌شود که الگوریتم‌های توازن انرژی از جمله سبال کارآیی بسیار بالایی داشته و نقش مهمی در مدیریت منابع آب و تخصیص بهینه آب به بخش کشاورزی و منابع طبیعی حوزه های آبخیز ایفا می‌کنند. از جمله مزایای این الگوریتمها نسبت به سایر روشهای قدیمی تر و متداول در تعیین نیاز آبی و یا تقاضای آب در هر منطقه این است که اطلاعات حاصله از همان ابتدا نقطه‌ای نیستند بلکه به یک دشت، زیرحوزه، حوزه آبخیز و حتی منطقه وسیعتری تعلق دارند و در قالب نقشه ارائه می‌شوند. علاوه بر نمایش پراکندگی مکانی تبخیر و تعرق، توزیع زمانی نتایج این الگوریتمها نیز وابسته به نیاز ما و همچنین داده‌های ماهواره‌ای موجود است. مسلماً با پیشرفتهای صورت گرفته در زمینه سنجش از دور انتظار می‌رود که تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز به وفور یافت شده و مشکلی از این بابت وجود نداشته باشد. از جمله نکات مهم دیگر در این زمینه صرفه جویی در هزینه‌ها است. صرف هزینه در این روش نسبت به سایر روشها (از جمله برداشتهای زمینی و آمار و اطلاعات اقلیمی) حدود ۱ به ۶ است (مورس و همکاران ۲۰۰۳) که همین مساله سبال را از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت می‌نماید.

پیشنهادات



روش توازن انرژی می تواند در شرایط مختلف اقلیمی و برای پوششهای گیاهی مختلف در حوزه آبخیز مورد استفاده قرار گیرد و نیاز آبی واقعی گیاهان را در سطح وسیع تعیین نماید. از طرفی دیگر انجام برنامه ریزی کلان در بخش آب کشور نیازمند اطلاعات دقیق و به هنگام⁹ از میزان تقاضای آب در هر منطقه است. بنابراین پیشنهاد می گردد که در امور مختلف مربوط به آب از جمله مدیریت منابع آب، تنظیم قوانین و مقررات مربوط به آب، تعیین آب مورد نیاز برای کشاورزی و محیط زیست هر منطقه و همچنین انجام محاسبات تبخیر و تعرق در مدل های بیلان آب و واسنجی مدل های آب زیرزمینی از روش توازن انرژی استفاده گردد. همکاری نهادهای زیربند در این زمینه باعث خواهد شد که روش توازن انرژی از حالت تحقیقاتی خارج و به اجرا نزدیک شود که این کار کمک زیادی به تولید داده های دقیق و به هنگام از نیاز آبی واقعی گیاهان مختلف در شرایط مختلف آب و هوایی کشور نیز خواهد کرد.

منابع مورد استفاده

1. اصغر زاده ح. ع.، ثنایی نژاد س. ح. (۱۳۸۵). تخمین تبخیر و تعرق گیاهان با استفاده از داده های سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی.
2. علیزاده، ا. (۱۳۸۳). رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
3. مباحثی م. ر.، خاوریان ح.، ضیائی پ.، کمالی غ. ع. (۱۳۸۴). برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر MODIS و الگوریتم سبال، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک.
4. Allen, R. G., and Wright, J. L. (1997). Translating wind measurements from weather stations to agricultural crops. *J. Hydrologic Eng.*, 2(1),
5. Allen, R. G.; Morse, A. and Tasumi M. (2003). Application of SEBAL for western US rights regulation and planning. ICID workshop on remote sensing of ET for large regions.
6. Allen, R. G.; Bastiaanssen W. G. M.; Wright, J.L.; Morse, A.; Tasumi M. and Trezza, R. (2002). Evapotranspiration from satellite images for water management and hydrologic balances. Proceedings of the 2002 ICID conference. Montreal, Canada.
7. Bastiaanssen W. G. M.; Noordman E. J. M.; Pelgrum H.; Davids G.; Thoreson B. P. and Allen R. G. (2005). SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. *Journal of irrigation and drainage engineering*.
8. Bastiaanssen W. G. M.; Ahmad M.D. and Chemin Y. (2002). Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin, *water resources research*, Vol. 38, No. 12, 1273.
9. Crago, R. D. (1996). Comparison of the evaporative fraction and the Priestley-Taylor a for parameterizing daytime evaporation. *Water Reso. Res.*, 32(5), 1403–1409
10. Hill R. W.; Brockway, C. E.; Burman R. D.; Allen L. N. and Robinson C. W. (1989). Duty of water under the Bear River compact: field verification of empirical methods for estimating depletion. Research report 125. Utah agricultural experiment station, Utah state university, Logan, Utah.
11. Mokhtari, M. H. (2005). Agricultural drought impact assessment using remote sensing, (a case study borkhar district-Iran). MSc thesis, ITC, the Netherlands. P 127.
12. Morse, A.; Allen, R. G.; Tasumi M.; Kramber W. J. and Trezza, R. (2003). Application of the SEBAL methodology for estimating evapotranspiration and consumptive use of water trough remote

⁹ -Update



پنجمین همایش ملی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
(مدیریت پایدار بلایای طبیعی)



- sensing, Phase III: the transition to an operational system. The Raytheon systems company earth observation system data and information system project. P. 31.
13. Senay G. B.; Budde M.; Verdin J. P. and Melesse A. M. (2007). A Coupled Remote Sensing and Simplified Surface Energy Balance Approach to Estimate Actual Evapotranspiration from Irrigated Fields, International journal of Sensors, Vol. 7, pp 979-1000.
 14. Shuttleworth, W. J., Gurney, R. J., Hsu, A. Y., and Ormsby, J. P. (1989). FIFE: The variation in energy partitioning at surface flux sites, remote sensing and large scale global processes. Proc., Red Book 186, International Association of Hydrological Sciences (IAHS), Delft, The Netherlands, 67-74.
 15. Tasumi M.; Trezza R.; Allen R. G. and Wright J. L. (2003). US validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite, ICID workshop on remote sensing of ET for large regions.