

مقاله پژوهشی

واسنجی مدل آیدین- اویگر در برآورد تبخیر از خاک شور تحت کاربرد سه مدیریت تلفیقی آب شور در مناطق خشک و نیمه خشک

طاهره رئیسی^{۱*}، سید حسن طباطبائی^۲ و حبیب اله بیگی هرچگانی^۳

چکیده

اندازه‌گیری و تخمین تبخیر به آسانی میسر نیست و تنها با استفاده از روش‌های تجربی یا تعادل آب خاک در لایسیمتر، تبخیر را می‌توان تعیین کرد. از طرف دیگر در مکان‌هایی که شرایط مزرعه استاندارد (تعریف شده در فائو ۵۶) نباشد، اعمال تصحیح بر روی تبخیر و تعرق محاسبه شده بر مبنای پارامترهای فیزیکی مورد نیاز است. یکی از این شرایط وجود نمک در محلول خاک است که منجر به کاهش تبخیر می‌شود. هدف از این مطالعه واسنجی مدل تجربی آیدین- اویگر، در یک خاک شور تحت مدیریت‌های مختلف با آب شور برای شرایط خشک و نیمه خشک است. بدین منظور، سه تیمار مدیریت تلفیقی آبیاری با آب شور و شیرین (مخلوط، نیم در میان و یک در میان) در سه تکرار به صورت طرح کاملاً تصادفی در نه لایسیمتر اجرا شد. نمونه برداری در یازده مرحله انجام گرفت و در فاصله بین دو نمونه برداری متوالی میزان تبخیر از خاک با استفاده از رابطه‌ی بیلان آب در خاک به دست آمد. از میان این یازده مجموعه داده تبخیر مشاهده شده، هشت مجموعه به منظور واسنجی مدل و سه مجموعه برای اعتبارسنجی مدل‌های واسنجی شده، مورد استفاده قرار گرفتند. معنی‌دار بودن مدل‌های برازش شده از طریق تشکیل جدول تجزیه واریانس مورد بررسی قرار گرفت و پس از اطمینان از معنی‌دار بودن، اعتبارسنجی مدل‌های برازش شده از طریق ضرایب جرم مانده (CRM) و کارایی مدل (EF) انجام شد. ضرایب CRM و EF در سه تیمار مخلوط، یک در میان و نیم در میان به ترتیب ۰/۳۹-، ۰/۳۴- و ۰/۳۹-، ۰/۲۸-، ۰/۱۴- و ۰/۱۸- به دست آمد. از این رو، در هر سه تیمار اعمال شده، مدل‌های برازش شده از کارایی نسبتاً خوبی برای پیش‌بینی تبخیر در محدوده زمانی مورد مطالعه و خاک مورد مطالعه برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر خاک شور، آب شور، مدل‌های تجربی، واسنجی، مدیریت تلفیقی آب شور و شیرین

ارجاع: رئیسی ط. طباطبائی س.ج. و بیگی ح. ۱۳۸۷. واسنجی مدل آیدین- اویگر در برآورد تبخیر از خاک شور تحت کاربرد سه مدیریت تلفیقی آب شور در مناطق خشک و نیمه خشک. مجله پژوهش آب ایران. ۲(۳): ۱-۱۰.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- عضو هیات علمی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- عضو هیات علمی گروه مهندسی خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* نویسنده مسئول treissi1385@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۴/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۲۲

مقدمه

شوری آب و خاک پدیده‌ای رایج در مناطق خشک و نیمه خشک است. از طرف دیگر، با توجه به محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک، امروزه نگاه‌ها به سوی استفاده از منابع آبی شور معطوف شده است. تعیین تبخیر و تعرق یا تبخیر از خاک، یکی از ضروری‌ترین نیازهای یک پروژه آبیاری - زهکشی است. در این میان، تبخیر از خاک شور به دلیل تأثیر مستقیم شوری بر فرآیند تبخیر و نیز تأثیر غیرمستقیم آن از طریق شوری خاک، سبب می‌شود تا نتوان مقدار تبخیر از سطح خاک شور را مستقیماً از روبرو تجربی موجود برای برآورد تبخیر تحت شرایطی که خاک شور نیست، بدست آورد. انتخاب روش مناسب در تخمین تبخیر در این شرایط می‌تواند به کاربرد بهینه آب و افزایش محصول در این مناطق منجر شود.

در تحقیقی از مدل‌های پنمن - فائو، رادیشن - فائو، هارگریوز، پنمن - مانیتث، بیلینی - کریدل و پنمن برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل در شمال غرب چین استفاده کردند و نتیجه گرفتند که مدل پنمن - فائو بهتر از سایر مدل‌ها، تبخیر و تعرق پتانسیل را پیش بینی می‌کند. در این تحقیق^۱ RMSE مدل‌ها بین ۱/۱۱ تا ۱/۷ میلی‌متر و ضریب تعیین (R^2) بین ۰/۵۹ تا ۰/۹۳ بود (زاهو و همکاران، ۲۰۰۵).

اندازه‌گیری شدت تبخیر در فواصل زمانی کوچک (کمتر از یک روز، ساعتی) از تشتک امکان پذیر نیست اما با اندازه گیری تغییر به وجود آمده در میزان هدایت الکتریکی آب موجود در تشتک می‌توان به میزان تبخیر در فواصل زمانی کوچک نیز پی برد. علاوه بر این، احتمالاً شدت تبخیر از تشتک حاوی آب شور یک رابطه خطی با جریان عمودی بخار برآورد شده به وسیله روش حجمی دارد. ضریب تناسب برای تبدیل جریان بخار به شدت تبخیر از تشتک حاوی آب شور در منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق در ژاپن حدود ۰/۶۷ است. این ضریب باید برای مکان‌های مختلف و شرایط جوی مختلف تعیین شود (فوجیتا و هوندا، ۱۹۸۰).

شدت تبخیر از سطح آب تابعی از شوری آب است. به عبارت دیگر شوری آب منجر به کاهش فشار بخار آب و در نتیجه منجر به کاهش تبخیر می‌شود (شمیری، ۲۰۰۲).

حساسیت تبخیر از خاک لخت را به خیسگی سطحی با استفاده از مدل‌هایی که رطوبت خاک و دمای لایه سطحی خاک را با هم در نظر می‌گیرند، می‌توان پیش بینی کرد. یکی از این مدل‌ها مدل BARESOIL است. در نهایت با اجرا این مدل دیده شده که همبستگی خوبی بین داده‌های مشاهده‌ای تبخیر از سطح خاک و داده‌های پیش بینی شده توسط مدل BARESOIL وجود دارد (دکی و همکاران، ۱۹۹۴).

برای تخمین تبخیر از خاک لخت در مناطق نیمه خشک می‌توان از مدل فائو (در نشریه ۵۶) استفاده کرد. مقایسه نتایج حاصل از مدل فائو با داده‌های مشاهده شده تبخیر نشان می‌دهد که در شرایط تبخیر کم، داده‌های مشاهده‌ای با نتایج مدل فائو ۵۶ حدود ۷٪ تفاوت دارند در حالی که تحت شرایط تبخیر بالا، نتایج مدل فائو ۵۶ نسبت به رطوبت اولیه خاک حساس بوده و برای حدود متوسط رطوبت اولیه، دقیق تر است (تورز و کوستا، ۲۰۰۶).

نقش تغییرات اقلیمی در تبخیر از یک خاک لخت در منطقه مدیترانه توسط آیدین و همکاران (۲۰۰۷) مورد مطالعه قرار گرفته است. آنها با استفاده از سه عدد میکرو لایسیمتر برای به دست آوردن تبخیر واقعی از خاک لخت از توزین میکرو لایسیمترها و از روش پنمن در برآورد تبخیر پتانسیل و از روش آیدین-اویگر (۲۰۰۶) در برآورد تبخیر از یک خاک لخت استفاده کردند. مدل آیدین-اویگر (۲۰۰۶) بر مبنای پتانسیل آب در خاک استوار است. در این مدل مقادیر پتانسیل آب در خاک در هوای خشک و در لایه سطحی خاک و در شرایط معمولی خاک در نظر گرفته می‌شود. نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین میزان تبخیر اندازه گیری شده و برآورد شده وجود دارد (آیدین و همکاران، ۲۰۰۷).

سالوترا و همکاران (۱۹۸۵) به مطالعه تبخیر از سطح آب شور و شیرین پرداختند. آنها بر این عقیده بودند که شدت تبخیر از آب شور تا تبخیر از آب شیرین از ۰/۹۴ (در آب دریای مدیترانه با چگالی ۱/۰۳۷ گرم بر سانتیمتر مکعب)

^۱- Root mean square error (RMSE)

با توجه به مباحث فوق و مدل‌های موجود برای تخمین تبخیر، به دلیل مدل آیدین- اویگر از پارامترهای فیزیکی از جمله پتانسیل آب در خاک برای تخمین تبخیر از خاک استفاده می‌کند و اجرای این مدل مشکل نیست، از این رو هدف از این تحقیق برآزش مدل آیدین- اویگر (۲۰۰۶) به داده‌های تبخیر از یک خاک شور تحت مدیریت‌های مختلف با آب شور در یک منطقه با اقلیم خشک و نیمه خشک است.

مواد و روشها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد واقع در شهرکرد (طول جغرافیایی $45^{\circ} 50'$ شرقی و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 20'$ شمالی) انجام شد. اقلیم این منطقه نیمه خشک با متوسط بارندگی ۳۱۸ میلی‌متر و متوسط دما $11/3^{\circ}C$ است. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی در نه لایسیمتر و تحت سه مدیریت آبیاری در دو سال متوالی (۱۳۸۵ و ۱۳۸۶) اجرا شد. خاک درون لایسیمتر در طول نیمرخ کاملاً یکنواخت است. خاک مورد آزمایش، یک خاک شور (هدایت الکتریکی = ۲۰ دسی زیمنس بر متر)، گچی و حاوی ۲۰٪ کربنات کلسیم معادل است که از منطقه سگری اصفهان به محل مطالعه انتقال یافته و در لایسیمترها به صورت یکنواخت قرار گرفت. درصد رس در این خاک ۴۸، درصد شن ۳۶ و درصد سیلت ۱۶ است. بنابراین، بافت خاک در کل نیمرخ رسی است. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از:

- تیمار T0 (تیمار مخلوط): سه لایسیمتر مربوط به این تیمار در هر نوبت آبیاری با مخلوطی از آب چاه و آب شور ($EC = 7/5 dS m^{-1}$) آبیاری شدند.
- تیمار T1 (تیمار یک در میان): سه لایسیمتر مربوط به این تیمار به طور متناوب، یک نوبت با استفاده از آب شور ($EC = 14 dSm^{-1}$) و نوبت بعدی با آب شیرین ($EC = 1 dSm^{-1}$) آبیاری شدند.
- تیمار T2 (تیمار نیم در میان): سه لایسیمتر مربوط به این تیمار در هر نوبت آبیاری ابتدا با آب شور ($EC = 14 dSm^{-1}$) و بلافاصله پس از نفوذ آب شور با آب شیرین ($EC = 1 dSm^{-1}$) آبیاری شدند.

تا ۰/۶۹ (آب دریای مرده با چگالی ۱/۲۳۳ گرم بر سانتیمتر مکعب) متغیر است. این کاهش تبخیر از آب شور می‌تواند به دلیل تأثیر شوری بر فشار بخار اشباع و مقدار این کاهش وابسته به ترکیب یونی آب شور است. از این رو، وجود غلظت بالای املاح در محلول خاک، منجر به کاهش تبخیر از سطح خاک می‌شود. در ضمن غلظت محلول می‌تواند سرعت تبخیر را به دلیل تأثیر آن بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک تحت تأثیر قرار دهد (ریچارد و همکاران، ۱۹۹۸).

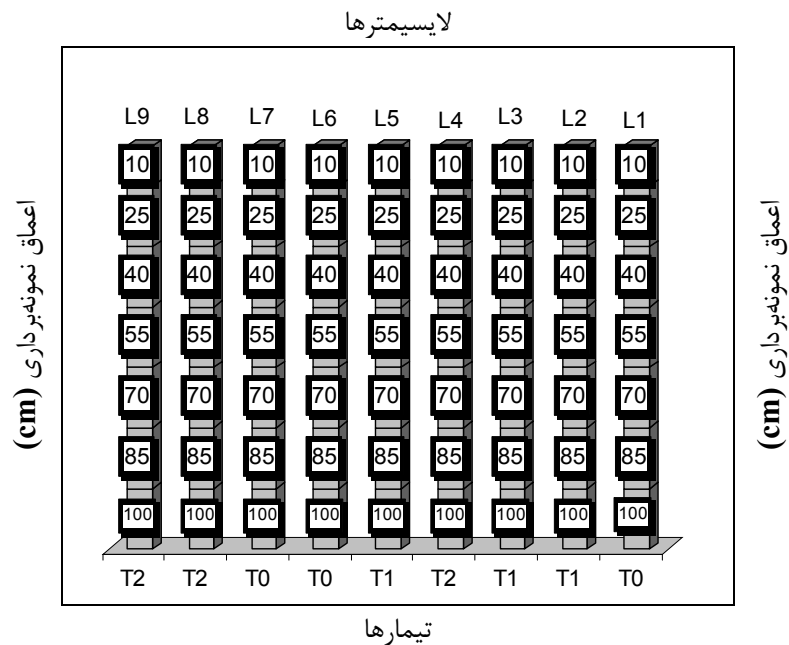
رئسی و طباطبائی (۱۳۸۶) نشان دادند که روش آیدین- اویگر (۲۰۰۶) در تیمار نیم در میان (آبیاری با ۵۰٪ آب شور-هدایت الکتریکی ۱۴ دسی زیمنس بر متر- و سپس بلافاصله بعد از نفوذ آب شور با ۵۰٪ آب شیرین- هدایت الکتریکی ۱ دسی زیمنس بر متر) تطابق بیشتری با داده‌های مشاهده‌ای دارد ولی در سایر مدیریتها (مخلوط و یک در میان) میزان خطای این روش بیش از روشهای دیگر بررسی شده بود.

معادلات جریان رطوبت و انتقال گرما در ناحیه اشباع از خاک را می‌توان با مدل لایه مرزی اتمسفر^۱ ترکیب کرد و بدین ترتیب، معادلات حاصل را، برای جریان اسمزی ایجاد شده در حضور یون‌های به خصوصی در محلول خاک حل کرد. برای اثبات اثر شوری خاک روی تبخیر، مسئله نفوذ آب به داخل خاکی با محتوای رطوبتی اولیه پایین و تبخیر دیرتر آن را می‌توان بررسی کرد و در نهایت نتیجه گرفت که شیب فشار اسمزی بر روی میزان تبخیر اثر مهمی دارد (یاکروویچ، ۱۹۹۷).

اثر سله‌های نمک در تبخیر از یک خاک شور لخت توسط فوجیمایکی و همکاران (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش در ستون‌های آزمایشگاهی تحت شرایط اقلیمی ثابت که به صورت اتوماتیک تنظیم می‌شد، انجام گرفت. اگرچه سطح خاک را به وسیله ایجاد یک مکش حداقل در قسمت تحتانی خیس نگه داشتند، ولی با این وجود، مشاهده کردند که سرعت تبخیر با زمان کاهش می‌یابد. این کاهش نمی‌تواند به تنهایی توسط کاهش در پتانسیل اسمزی توجیه شود اما می‌تواند تا حدی به دلیل تشکیل سله‌های نمک در نزدیکی سطح خاک که به صورت مالچ عمل می‌کند، باشد.

¹- Atmosphere boundary layer model (ABLML)

در شکل ۱ تیمارهای اعمال شده در هر یک از نه لایسیمتر نشان داده شده است. در این طرح سه تکرار برای هر تیمار در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- نقشه طرح آزمایشی و عمق نمونه برداری در این تحقیق

داده های اقلیمی مورد نیاز در دوره تحقیق از ایستگاه هواشناسی شهرکرد تهیه شد. تبخیر پتانسیل بر اساس معادلات پنمن-مانتیث-فائو (PMF) با استفاده از نرم افزار Ref-Et تخمین زده شد. برای محاسبه تبخیر از سطح خاک از مدل آیدین- اویگر (۲۰۰۶) استفاده شد. برای استفاده از مدل مذکور، تبخیر پتانسیل از رابطه پنمن به دست می آید. مدل فوق بر اساس پتانسیل آب در خاک استوار است. در این مدل ابتدا پتانسیل آب (Ψ) در خاک طبق رابطه زیر با در نظر گرفتن فرضیاتی، محاسبه می شود:

$$\Psi = -\left[\frac{1}{\alpha} (10 \sum E_p)^3 / 2 (\theta_{fc} - \theta_{ad}) (D_{av} t / \pi)^{1/2} \right] \quad (2)$$

که در آن: α پارامتر مخصوص خاک است که به اعوجاج مسیر جریان^۱ ربط داده می شود (برای خاک های رسی $\alpha = 1/1$ فرض می شود)، Ψ پتانسیل آب در خاک (سانتیمتر آب)، $\sum E_p$ مجموع تبخیر پتانسیل از خاک (سانتیمتر)، θ_{ad} و θ_{fc} رطوبت حجمی خاک در شرایط مزرعه و در شرایط هوای خشک (m^3 / m^3)، D_{av} متوسط

در هر یک از مدیریت های فوق، دوازده نوبت آبیاری (در تاریخ های ۶/۶، ۶/۱۴، ۶/۲۲، ۷/۴، ۷/۱۹، ۸/۵، ۸/۲۷ و ۱۳۸۶ و ۱۳۸۵) و یازده نوبت نمونه برداری از خاک صورت گرفت و رطوبت نمونه ها به روش وزنی و هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۵ اندازه گیری شد. آبیاری بر مبنای ۴۰٪ تخلیه مجاز رطوبتی و بر اساس تبخیر از تشتک حاوی آب شیرین انجام گرفت. براساس رابطه بیلان آب بین دو نمونه برداری (رابطه ۱)، میزان تبخیر محاسبه شد:

$$R + I - \Delta\theta - DP = E \quad (1)$$

که در آن: R بارندگی، I مقدار آب آبیاری، $\Delta\theta$ مقدار تغییرات رطوبت قبل و بعد از آبیاری، DP نفوذ عمقی و E تبخیر از خاک است.

از میان این یازده مجموعه داده تبخیر اندازه گیری شده، هشت مجموعه به منظور واسنجی مدل آیدین- اویگر و سه مجموعه به منظور اعتبارسنجی مدل تصحیح شده آیدین- اویگر مورد استفاده قرار گرفت.

^۱- tortusity

داده شد و جدول تجزیه واریانس برای هر متغیر مستقل $(A/(EC_{iw}/EC_s))$ تشکیل شد. سپس معنی‌دار بودن مدل و شیب به دست آمده با کمک آزمون **F** مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت خطا (مقدار مشاهده شده منهای مقدار پیش بینی شده) در برابر هر یک از متغیرهای مستقل ترسیم گردید تا از کفایت مدل، اطمینان حاصل شود و به وجود یا عدم وجود داده پرت پی برده شود و بدین وسیله مدل آیدین- اویگر برای سه تیمار آبیاری تصحیح شد.

پس از واسنجی مدل آیدین- اویگر برای برآورد تبخیر از خاک شور تحت مدیریت‌های مختلف، مدل‌ها با استفاده از تشکیل گراف برای نتایج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و با استفاده از روش‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت، مدل‌های تصحیح شده آیدین- اویگر برای سه تیمار مخلوط، یک درمیان و نیم در میان توسط سه عدد داده تبخیر دیگر که در مورد همین تیمارها جمع آوری شده بود مورد اعتبارسنجی قرار گرفتند. برای اعتبارسنجی این مدل‌ها از آماره ضریب جرم مانده^۱ (CRM) و ضریب کارایی مدل^۲ (EF) استفاده شد. ضریب CRM از رابطه زیر محاسبه شد:

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (5)$$

که در این رابطه، P_i مقادیر پیش بینی شده تبخیر توسط هریک از مدل‌ها به دست آمده و O_i مقادیر مشاهده شده تبخیر برای هر یک از تیمارهای به کار رفته است. اگر ضریب CRM برابر صفر شود کارایی مدل حداکثر بوده و اگر + یا - شود، نشان دهنده بیش برآورد یا کم برآورد مدل است. برای اعتبار سنجی بیشتر مدل‌های برآورد شده، ضریب کارایی مدل از طریق رابطه زیر نیز محاسبه شد:

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

پخشیدگی هیدرولیکی ($cm^2 day^{-1}$) که بر اساس منابع موجود برای خاک رسی ۹۵ فرض می‌شود، t زمان (day) و π عدد ۳/۱۴ است. در رابطه فوق $(\theta_{fc} - \theta_{ad})(D_{av}t/\pi)^{1/2}$ نشان دهنده مقدار تأمین آب از لایه‌های عمقی به سمت سطح خاک برای تداوم تبخیر است. سپس پتانسیل آب در شرایط هوای خشک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Psi_{ad} = \frac{R_g T}{mg} \ln H_r \quad (3)$$

که در آن Ψ_{ad} ، پتانسیل آب برای شرایط هوا خشک (سانتیمتر آب)، T دمای مطلق (K)، g شتاب ثقل ($981 cm s^{-2}$)، m وزن ملکول آب ($0.01802 kg mol^{-1}$)، H_r رطوبت نسبی هوا، و R_g ثابت عمومی گازها است. در نهایت با استفاده از معادله زیر میزان تبخیر از خاک محاسبه شد:

$$E_a = \frac{\log|\Psi| - \log|\Psi_{ad}|}{\log|\Psi_{tp}| - \log|\Psi_{ad}|} E_p \quad (4)$$

که در آن Ψ و Ψ_{ad} در بالا تعریف شده اند و E_a مقدار برآورده شده تبخیر از سطح خاک ($mm h^{-1}$) و Ψ_{tp} پتانسیل آب در لایه سطحی خاک بوده و برای خاک رسی $60 cm$ در نظر گرفته می‌شود (آیدین- اویگر ۲۰۰۶).

بعد از به دست آوردن مقادیر واقعی تبخیر با استفاده از رابطه ۱ و همچنین با در نظر گرفتن هدایت الکتریکی برای لایه‌های سطحی خاک (که در نوبت‌های نمونه برداری متفاوت، متغیر است)، به منظور اعمال ضریب تصحیح مناسب بر مدل آیدین- اویگر یا به بیان بهتر واسنجی مدل آیدین- اویگر برای سه مدیریت تلفیقی آبیاری در نظر گرفته شده در این مطالعه، داده‌های مشاهده شده در برابر متغیر مستقل (نسبت تبخیر بدست آمده از مدل آیدین- اویگر (A) به هدایت الکتریکی آب اعمالی ($EC = \gamma/5dSm^{-1}$) تقسیم بر هدایت الکتریکی لایه سطحی خاک) رسم شد. بنابراین، با انجام عمل فوق تخمینی اولیه از نوع رابطه موجود بین داده‌های مشاهده شده و متغیرهای مستقل $(A/(EC_{iw}/EC_s))$ حاصل شود. پس از مشاهده نمودارهای فوق، مدل خطی بر داده‌های تبخیر حاصل از تیمار مخلوط و یک در میان و تیمار نیم در میان برآورد

¹ - Coefficient of residual mass

² - Model efficiency

نتایج و بحث

میزان تبخیر برآورد شده توسط مدل آیدین- اویگر تصحیح شده (E) برای هر یک از تیمارها و P-value و شاخص همبستگی به دست آمده برای هر یک از مدل‌ها در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

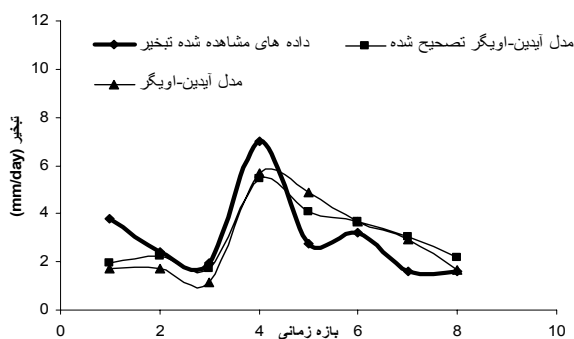
در این رابطه: P_i و O_i دارای همان تعاریف قبلی بوده و \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده ی تبخیر است. در رابطه فوق حداکثر مقدار EF یک است و اگر EF منفی شود بدین معنی است که مدل از کفایت و کارایی کافی برخوردار نیست و فقط برای همان محدوده داده های که مدل بر آن‌ها برازش شده، کاربرد دارد.

جدول ۱- نتایج محاسبات آماری برای ارزیابی مدل های برازش شده بر داده های مشاهده شده تبخیر در هشت بازه زمانی

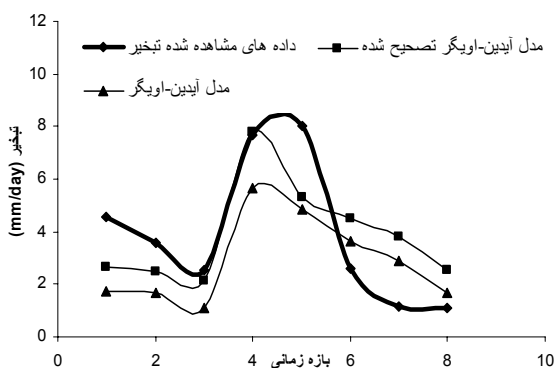
تیمار	مدل برازش شده	RMSE	R	P- value
یک در میان	$E = 0.699 + 1.87 \times A / (EC_{iw} / EC_s)$	۲/۰۴	۰/۶۹	• P < ۰/۰۵
نیم در میان	$E = 0.859 + 1.193 \times A / (EC_{iw} / EC_s)$	۱/۳۱	۰/۷۵	• P < ۰/۰۵
مخلوط	$E = 0.704 + 1.526 \times A / (EC_{iw} / EC_s)$	۱/۹۸	۰/۶۵	• P < ۰/۰۵

E، مقدار تبخیر از سطح خاک پس از اصلاح مدل آیدین- اویگر برای خاک شور در منطقه‌ای نیمه خشک (mm/h) و A مقدار تبخیر از سطح خاک که مستقیماً از رابطه‌ی تجربی آیدین- اویگر محاسبه شده است.

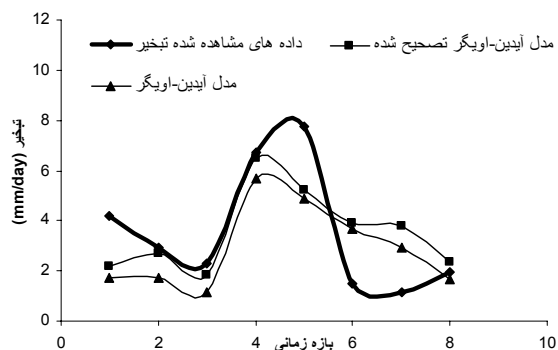
همان طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، مدل‌های اعمال شده در تیمارهای یک در میان، نیم در میان و تیمار مخلوط در سطح ۵ درصد معنی دار بوده و برآورد خوبی را از میزان تبخیر از خاک شور تحت مدیریت‌های مختلف نشان می‌دهند. علاوه بر این، بالاترین ضریب تعیین مدل‌های برازش شده بر داده‌های تبخیر، در تیمار نیم در میان، یک در میان و مخلوط به ترتیب بدست آورده شد. بنابراین مدل آیدین- اویگر تصحیح شده بهترین برآورد را داده‌های تبخیر تیمار نیم در میان در میان سه تیمار اعمالی دارد. نتایج به دست آمده از هر مدل آورده شده در جدول ۱ و مقادیر مشاهده شده‌ی تبخیر برای سه تیمار مدیریت آبیاری در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است.



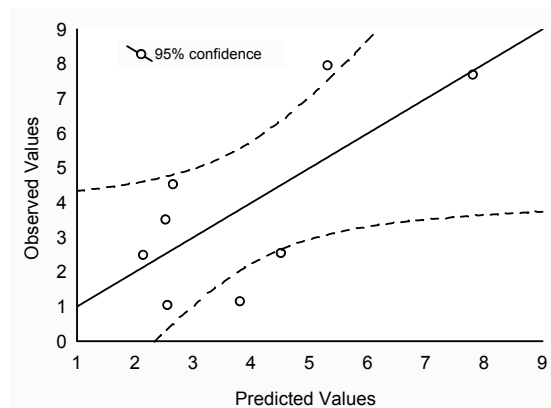
شکل ۳- مقادیر مشاهده‌ای تبخیر از خاک در تیمار نیم در میان و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل های برازش شده



شکل ۴- مقادیر مشاهده‌ای تبخیر از خاک در تیمار یک در میان و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل های برازش شده



شکل ۲- مقادیر مشاهده‌ای تبخیر از خاک در تیمار مخلوط و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل های برازش شده



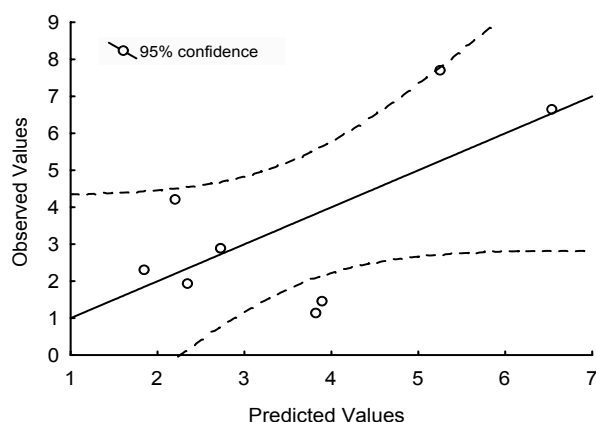
شکل ۷- مدل خطی برازش شده بر داده‌های تبخیر مشاهده‌ای تیمار یک در میان

چنان که در شکل‌های ۴ تا ۶ ملاحظه می‌شود محدوده‌ی اطمینان ۹۵٪ در مورد تیمار نیم در میان باریکتر است. از این رو می‌توان گفت عدم قطعیت در برآورد تبخیر از سطح خاک با کمک مدل آیدین- اویگر تصحیح شده تحت تیمار نیم در میان کمتر است. نتیجه‌ی فوق تأیید کننده‌ی نتایج جدول ۱ است.

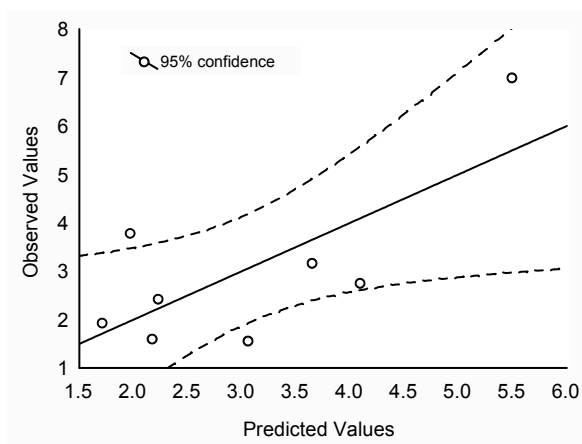
نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها با کمک داده‌های تبخیر در سه بازه زمانی دیگر (سه نوبت نمونه برداری دیگر) در جدول ۲ آورده شده است و به صورت نمودار ستونی داده‌های تبخیر مشاهده شده در این سه بازه زمانی و داده‌های تبخیر برآورد شده توسط مدل‌های توسعه داده شده در شکل‌های ۸ تا ۱۰ آورده شده‌اند.

همان طور که در جدول ۲ دیده می‌شود همه مدل‌های برازش شده دارای CRM نزدیک به صفر و منفی هستند و این بدین معنی است که مدل‌های توسعه داده شده از اعتبار خوبی برخوردار دارند. در عین حال، همه‌ی مدل‌ها مقدار تبخیر را در هر سه تیمار کمتر از حد واقعی برآورد می‌کنند. مدل‌های برازش شده در مورد داده‌های مشاهده شده تبخیر در مورد هر سه تیمار دارای EF کوچکتر از صفراند و می‌توان گفت که مدل‌های برازش شده فقط برای داده‌های سال اول که مدل آیدین- اویگر بر اساس آنها واسنجی شد، از کارایی لازم در پیش بینی تبخیر برخوردارند.

همان طور که در شکل‌های ۲ تا ۴ دیده می‌شود هر دو مدل آیدین- اویگر و آیدین- اویگر تصحیح شده به خوبی قادر هستند که روند کلی تبخیر را شبیه سازی کنند و برآورد نسبتاً خوبی از روند کلی تبخیر دارند. اما همان طور که در شکل‌های ذکر شده نیز دیده می‌شود با وارد کردن ضریب تصحیح در مدل آیدین- اویگر، مقادیر تبخیر پیش بینی شده توسط این مدل به مقادیر مشاهده‌ای تبخیر نزدیکتر می‌شود و برآورد تبخیر بهبود یافته است. در شکل‌های ۵ تا ۷ مدل خطی برازش شده بر داده‌های مشاهده‌ای تبخیر آورده شده است.



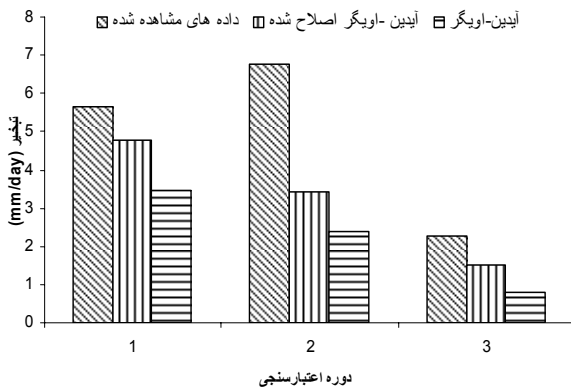
شکل ۵- مدل خطی برازش شده بر داده‌های تبخیر مشاهده‌ای تیمار مخلوط



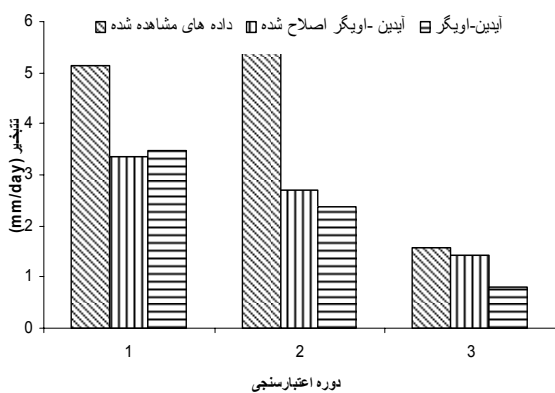
شکل ۶- مدل خطی برازش شده بر داده‌های تبخیر مشاهده‌ای تیمار نیم در میان

جدول ۲- نتایج اعتبارسنجی مدل های برازش شده برای داده های سال ۸۶-۸۵

تیمار	مدل های برازش شده	CRM	EF
یک در میان	$E = 0.699 + 1.87 \times A / (EC_{iw} / EC_s)$	-۰/۳۴	-۰/۱۴
نیم درمیان	$E = 0.859 + 1.193 \times A / (EC_{iw} / EC_s)$	-۰/۳۹	-۰/۱۸
مخلوط	$E = 0.704 + 1.526 \times A / (EC_{iw} / EC_s)$	-۰/۳۹	-۰/۲۸



شکل ۹- مقادیر تبخیر از خاک در تیمار یک در میان در سه دوره اعتبارسنجی مدل



شکل ۱۰- مقادیر تبخیر از خاک در تیمار نیم در میان در سه دوره اعتبارسنجی مدل

همانطور که در شکل‌های ۸ تا ۱۰ ملاحظه می‌شود با وارد کردن ضریب تصحیح در مدل آیدین- اویگر برآورد تبخیر توسط این مدل بهبود یافته است. از آنجایی که در این مدل‌های تصحیح شده شوری آب آبیاری و خاک لحاظ شده است، خود عاملی شده تا بتواند در مدیریتهای مختلف به کار گرفته شده برای استفاده از آب شور جواب نزدیکتری به

باید به این نکته توجه کرد که: تعداد داده‌های مورد استفاده به منظور اعتبارسنجی مدل‌های برازش شده، محدود می‌باشند. علاوه بر این، اغلب این داده‌ها مربوط به دوره‌های هستند که میزان تبخیر بالا است، بنابراین، مدل‌ها میزان تبخیر را کمتر از مقدار واقعی در این دوره‌ها برآورد کرده‌اند. لازم به ذکر است که در مرحله واسنجی مدل‌های نیز همان‌طور که در شکل‌های ۳ تا ۵ نیز مشاهده می‌شود، مدل‌های برازش شده در دوره‌های که میزان تبخیر بالاست، در برآورد تبخیر کم برآوردی داشته‌اند. احتمالاً به این دلیل که: به منظور واسنجی این مدل‌ها از داده‌های تبخیر مربوط به فصل تابستان و پاییز که اختلاف دما و تبخیر در این دو فصل زیاد است، استفاده شده است و امر فوق منجر به کم برآوردی تبخیر در زمان‌های که مقدار تبخیر بالا است، گشته‌است.



شکل ۸- مقادیر تبخیر از خاک در تیمار مخلوط در سه دوره اعتبارسنجی مدل

- Assessment journal. DOI 10.1007/s10661-007-9854-4
- 4- Deki Lj, Mihailovi D.T and Rajkovi B. 1995. A study of the sensitivity of bare soil evaporation schemes to soil surface wetness, using the coupled soil moisture and surface temperature prediction model, BARESOIL. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 55(1-2): 101-112.
 - 5- Fujimaki H, Shimano T, Inoue M. and Nakane K. 2006. Effect of a salt crust on evaporation from a bare saline soil. *SSSAJ* 5:1246-1256.
 - 6- Fujita T. and Honda N. 1980. Measurement of evaporation from salt water pan. *Meteorology and Geophysics*. 31(1):1-6.
 - 7- Richard G, Pereira R, Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage*. Paper No: 56. Rome, Italy.
 - 8- Salhotra, A.M, Adams E.E and Harleman D.R.F. 1985. Effect of salinity and ionic composition on evaporation: analysis of Dead Sea evaporation pans. *Water Resource Research*. 21: 1336-1344.
 - 9- Shammiri, M. AH. 2002. Evaporation rate as a function of water salinity. *Desalination*. 150:189-203.
 - 10- Torres E. A. and Cuesta A. 2006. Evaluation of FAO-56 model for bare soil evaporation in a semi-arid region using experimental data. *Geophysical Research Abstracts*. Vol: 8.
 - 11- Yakirevich A. 1997. A model for numerical simulating of evaporation from bare saline soil. *Water Resource Research*. 33(5):1021-1034.
 - 12- Zhao CH, Nan Zh. and Cheng G. 2005. Evaluating methods of estimation and modeling spatial distribution of evapotranspiration in the Middle Heihe River basin, China. *American J. of Environmental Sciences*. 1(4):278-285.

واقعیت به دست بدهد. همچنین با توجه به این که اساس مدل آیدین-اویگر در یک منطقه با اقلیم مدیترانه‌ای توسعه داده شده، بنابراین قابل انتظار است که در اقلیم‌های دیگر نیاز به تصحیح داشته باشد که در تحقیق حاضر نیز ضرایب اصلاحی این وظیفه را به عهده داشته اند و به طور کلی سبب شده اند تا نتایج در کل طرح بهبود یابد.

نتیجه‌گیری

به منظور ایجاد یک رابطه بین داده های مشاهده شده تبخیراز سطح خاک و دادهای تبخیر پتانسیل به دست آمده از روش تجربی آیدین-اویگر، مدل‌هایی بر داده های تبخیر برآزش شد و این مدل های اعمال شده توسط داده های دیگری مورد اعتبارسنجی قرار گرفتند. نتایج به طور خلاصه به شرح زیر هستند:

- مدل های برآزش شده بر داده های تبخیر در هشت نوبت آبیاری در $P < 0.05$ معنی دارند و از ضریب تعیین تقریباً خوبی برخوردار هستند.
- ضرایب تصحیح اعمال شده بر مدل آیدین-اویگر برای سه تیمار آبیاری منجر به بهبود برآورد تبخیر از خاک شور توسط این مدل شده است.
- مدل های واسنجی شده‌ی آیدین-اویگر برای هر سه تیمار در مرحله‌ی واسنجی مدل مقدار تبخیر را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند.

منابع

- ۱- رئیس ط. و طباطبائی س. ح. ۱۳۸۶. بررسی صحت چند روش تجربی در برآورد تبخیر از یک خاک شور تحت سه مدیریت آبیاری با آب شور. مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. ایران.
- 2- Aydin M. and Uygur V. 2006. A model for estimating soil water potential of bare fields. In *Proceedings of the 18th International Soil Meeting (ISM) on Soils Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology*, Şanlıurfa, Turkey.
- 3- Aydin M, Yano T, Evrendilek F. and Uygur V. 2007. Implications of climate change for evaporation from bare soils in a Mediterranean environment. *Environmental Monitoring and*

