مدل کردن تبخیر غیرماندگار از خاک لخت در حضور سطح ایستابی کم عمق افتان

قاسم زارعی و عبدالمجید لیاقت

به ترتیب استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و دانشیار دانشکدهٔ مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

مقدمه

دهه ۹۰ میلادی را می‌توان دورهٔ تدوین مدلهای‌نظری‌و کاربردی نامید. در این دهه با بکارگیری رایانه‌ها، انبوهی از اطلاعات‌و داده‌های موجودگردآوری، جمع‌بندی و منتشرگردیدو بسیاری از مدلهای‌فرا آمده نسبت‌به اعداد و ارقام‌واقعی موردسنجش قرارگرفتند. بطور کلی دو مفهوم مدلسازی و شبیه سازی با هم تفاوت دارند، زیرا مدلسازی بمعنی *ساختن* یک مدل و شبیه سازی به معنای *استفاده* از مدل ساخته شده است. با عنایت به نقش تبخیر از سطح خاک به عنوان جزء مهم بیلان آب، تلف شدن آب در اراضی فاریاب و شور شدن خاک، تعیین این مولفه چرخه آبی از اهمیت برخودار است. مشکل اصلی در برآورد دقیق تبخیر غیرماندگار در شرایط مزرعه‌ای، نبود روابطی ساده با حداقل اطلاعات ورودی برای لحاظ کردن در مدل‌های بیلان آب است. در این مقاله چگونگی مدل کردن تبخیر از سطح خاک لخت با وجود سطح ایستابی کم عمق افتان تشریح شده است. این مدلها با استفاده از معادلهٔ *ریچاردز* و با کمک معادله‌های پارامتریک *وان گنوختن*، *بروکز و کوری* و *کمپل*[1] برای توصیف تغییرات میزان رطوبت در ناحیهٔ غیراشباع بالای سطح ایستابی حین تبخیر، بسط داده شده اند. با استفاده از این مدلها، مقادیر تبخیر تجمعی از سطح خاک و زمان تبخیر به صورت توابعی از افت سطح ایستابی، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و عمق لایهٔ غیرقابل نفوذ تعیین گردیده‌اند. با ساخت مدل‌های فیزیکی و استفاده از سه نوع خاک دست خورده، کارآیی روابط پیشنهاد شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روشها

الف- مدل‌های تحلیلی: با تحلیل تغییرات رطوبت در منطقهٔ غیراشباع بالای حاشیه موئینه‌ای در دورهٔ تبخیر، استفاده از روش‌های ریاضی و اعمال شرایط مرزی و اولیه حاکم بر مسأله و در نظر گرفتن فرضیات انجام شده، معادلهٔ زیر میزان تبخیر تجمعی از سطح خاک بدون پوشش را بصورت تابعی از افت سطح ایستابی و پارامترهای منحنی رطوبتی خاک مدل *کمپل* در یک فاصلهٔ زمانی$[0, t]$، تعیین می‌کند [۱]:

$$E(t)=\theta_s h_b\left\{\frac{1}{1-\beta}\left[(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}+1)^{1-\beta}-1\right]-(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi})\right\} \qquad (۱)$$

برای بدست آوردن زمان افت سطح ایستابی، با فرض اینکه شدت جریان ورودی از ناحیهٔ اشباع به بخش غیراشباع بالای سطح ایستابی *معادل شدت تبخیر* از سطح خاک می‌باشد، معادلهٔ زیر رابطه افت سطح ایستابی با زمان بر اثر تبخیر از سطح خاک را با توجه به ویژگی‌های فیزیکی خاک و عمق لایهٔ غیرقابل نفوذ بیان میکند [۱]:

$$\frac{K_s\,t}{\theta_s\,h_b}=L^*(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi})-\frac{L^*}{1-\beta}\left[(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}+1)^{1-\beta}-1\right]-\frac{1}{2}\left[(Z^*_{cf})^2-(Z^*_{cfi})^2\right]+$$
$$\frac{1}{1-\beta}\left[Z^*_{cf}(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}+1)^{1-\beta}-Z^*_{cfi}\right]-\frac{1}{(1-\beta)}\frac{1}{(2-\beta)}\left[(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}+1)^{2-\beta}-1\right] \qquad (۲)$$

در روش دوم، مقدار تبخیر تجمعی از سطح خاک لخت بصورت تابعی از افت سطح ایستابی و پارامترهای منحنی رطوبتی خاک *بروکز و کوری* در یک فاصلهٔ زمانی$[0, t]$، بصورت زیر بدست می‌آید[۱]:

$$E(t)=h_b(\theta_s-\theta_r)\left\{\frac{1}{1-\lambda}\left[(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}+1)^{1-\lambda}-1\right]-(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi})\right\} \qquad (۳)$$

---

[1] Van Genuchten, Brooks - Corey & Campbell

برای بدست آوردن زمان افت سطح ایستابی، در این روش رابطهٔ زیر بدست می‌آید[۱]:

$$\frac{K_s t}{h_b(\theta_s-\theta_r)} = L^*(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}) - \frac{L^*}{1-\lambda}\left[(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}+1)^{1-\lambda}-1\right] - \frac{1}{2}\left[(Z^*_{cf})^2-(Z^*_{cfi})^2\right]$$
$$+\frac{1}{1-\lambda}\left[Z^*_{cf}(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}+1)^{1-\lambda}-Z^*_{cfi}\right]$$
$$\frac{1}{(1-\lambda)}\frac{1}{(2-\lambda)}\left[(Z^*_{cf}-Z^*_{cfi}+1)^{2-\lambda}-1\right] \qquad (۴)$$

در روش سوم، مقدار تبخیر تجمعی از سطح خاک لخت بصورت تابعی از افت سطح ایستابی و پارامترهای منحنی رطوبتی خاک *وان گنوختن* در یک فاصلهٔ زمانی$[0, t]$، بصورت زیر تعیین می‌شود[۱]:

$$E(t) = (\theta_s-\theta_r)\left\{\frac{1}{\alpha n}\left[B_\gamma(p,q)-B_K(p,q)\right]-(Z_{cf}-Z_{cfi})\right\} \qquad (۵)$$

برای بدست آوردن زمان افت سطح ایستابی، در این روش رابطهٔ زیر بدست می‌آید [۱]:

$$\frac{K_s h_b t}{(\theta_s-\theta_r)} = L(Z_{cf}-Z_{cfi}) - \frac{1}{2}\left[(Z_{cf})^2-(Z_{cfi})^2\right] - \int_{Z_{cfi}}^{Z_{cf}} \frac{(L-Z_{cf})dZ_{cf}}{\left\{1+\left[\alpha(Z_{cf}-Z_{cfi}+h_e)\right]^n\right\}^m} \qquad (۶)$$

ب- ساخت مدلهای فیزیکی: سه بافت خاک *Sandy Loam*، *Silty Clay Loam* و *Silty Clay* در نُه استوانه (در سه تکرار) از جنس*PVC* به قطر۴۰سانتیمتر و ارتفاع ۱۹۰سانتیمتر، با لایه بندی یکنواخت تهیه شد. پس از اشباع شدن ستونهای‌خاک، تبخیر از سطح خاک شروع گردید. میزان‌تبخیر هر ستون بصورت وزنی اندازه‌گیری‌شد. سطح آب در ستونهای خاک نیز از طریق پیزومترهای متصل به آنها قرائت گردید. هدایت آبی اشباع خاک که یکی از فاکتورهای موردنیاز روابط ارائه شده‌است، به‌روش آزمایشگاهی بار ثابت تعیین‌شد. برای محاسبهٔ پارامترهای موردنیاز مدل‌رطوبتی *کمپل*، با استفاده از اطلاعات مربوط به جرم مخصوص ظاهری خاک‌ها، میانگین هندسی قطر ذرات خاک و انحراف معیارهندسی اندازهٔ ذرات تشکیل دهندهٔ خاک‌ها، روابط پیشنهادی *کمپل* که بر اساس مثلث جدید بافت خاک *شیرازی* و *بورسما* است، استفاده شد[۲ و ۳]. برای محاسبهٔ پارامترهای مورد نیاز مدلهای رطوبتی *بروکز و کوری* و *وان گنوختن*، با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در مکش‌های مختلف، رطوبت نمونه‌های‌خاک تعیین شد. با توجه به اینکه فرآیند تبخیر منجر به خشک شدن خاک‌ها میشود، در تعیین منحنی رطوبتی، شاخهٔ مربوط به خشک شدن آن مشخص و بکار رفت. با استفاده از داده‌های‌حاصل، پارامترهای این دو مدل بوسیلهٔ بستهٔ نرم‌افزاری*RETC* [۴] محاسبه شدند.

نتایج و بحث

مقایسه نتایج تبخیر و افت سطح ایستابی محاسبه شده با استفاده از مدل‌های پیشنهادی حاصل از منحنی‌های رطوبتی *کمپل*، *بروکز و کوری* و *وان گنوختن* (معادلات ۱ تا ۶) با اندازه‌گیری های انجام شده نشان داد که برای بافت‌های سه‌گانه اولا؛ دقت برآورد معادلات حاصل از مدل *کمپل* پائین ولی معادلات حاصل از مدلهای *بروکز و کوری* و *وان گنوختن* قابل قبول است، ثانیا: هر سه مدل مقدار تبخیر را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کرده اند. این اختلاف بخاطر فرضیّات بکار رفته در مدلها است. ثالثا؛ دقت برآورد روش اشتقاق یافته با استفاده از مدل رطوبتی *وان گنوختن* بترتیب بهتر از روشهای اشتقاق یافته با مدل‌های رطوبتی *بروکز و کوری* و *کمپل* می‌باشد.

منابع

[۱] زارعی، ق.، همائی، م. و لیاقت، ع. م. ۱۳۸۱. تبخیر غیرما ندگار از سطح خاک بدون پوشش با وجود سطح ایستابی کم عمق. پایان نامه دکتری گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

[2] Campbell, G. S. 1985. Soil physics with basic transport models for soil-plant systems. Develop. In Soil Sci. 14. Elsevier, New York.

[3] Shirazi, M. A., and L. Boersma. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:142-147.

[4] Van Genuchten, M. Th., F. J. Leij and S. R. Yates. (1991). The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. US Environmental Protection Agency. Pp:85.