Archive of SID

تخمین تبخیر و تعرق از پروفیل خاک در حضور مالچ های چوبی، سنگی و تراشه های لاستیکی به روش سطح شار صفر

جهانگیر عابدی کوپائی[1*]، سید فرهاد موسوی[2] و مهسا رحمانی[3]

۱*- نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، koupai@cc.iut.ac.ir

۲- استاد دانشکده عمران، دانشگاه سمنان

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت:۹۱/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۱

چکیده

یکی از روش‌های تعیین تبخیر و تعرق روش سطح شار صفر است که بر اساس رطوبت و مکش موجود در خاک، تبخیر و تعرق را تخمین می‌زند. از این روش در اندازه‌گیری و تخمین مقدار تبخیر، تبخیر و تعرق و تغذیه آب زیرزمینی استفاده می‌شود. در این تحقیق که در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد، از انواع مالچ‌های چوبی، سنگی و تراشه‌های لاستیکی با ضخامت‌های ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر در مقایسه با چمن و خاک بدون پوشش به منظور تأثیر در میزان تبخیر و تعرق از پروفیل خاک توسط مدل مزرعه ای سطح شار صفر، به صورت طرح فاکتوریل (۳×۸) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی که فاکتور اول شامل انواع مالچ، چمن و تیمار بدون پوشش و فاکتور دوم عمق خاک بود استفاده شد. مدت انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای ۴۴ روز بود و همچنین نتایج روش مذکور در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری Ref-ET و OPTIWAT مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد عمقی که سطح شار صفر در آن تشکیل می‌گردد در حضور مالچ‌های مختلف متفاوت است. بیشترین عمق سطح شار صفر در کرت بدون پوشش در ۳۸ سانتی‌متری از سطح خاک و کمترین عمق در ۳۲ سانتی‌متری از سطح خاک در کرتی تشکیل گردید که پوشش سنگی به ضخامت پنج سانتی‌متر داشت. طبق معادله‌های روش سطح شار صفر، در طول آزمایش، کرتی که بدون پوشش بود بیشترین میزان تبخیر و تعرق (۱۷۸ میلی‌متر) را داشت و پس از آن به ترتیب چمن، مالچ چوبی به ضخامت ۵ سانتی‌متر، مالچ لاستیکی به ضخامت ۵ سانتی‌متر ، مالچ لاستیکی به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر ، مالچ سنگی به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر ، مالچ چوبی به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر و مالچ سنگی به ضخامت ۵ سانتی‌متر بیشترین میزان تبخیر و تعرق را داشتند. نتایج مقایسه روش سطح شار صفر با دو مدل Ref-ET و OPTIWAT نیز نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق به دست آمده در کرت بدون پوشش توسط روش سطح شار صفر (۱۷۸ میلی‌متر) که در آن از پارامترهای خاک استفاده شده، با نتایج مدل‌های Ref-ET و OPTIWAT که از پارامترهای هواشناسی در آنها استفاده گردیده، تفاوت دارد. در مدل Ref-ET میزان تبخیر و تعرق به دست آمده توسط روش بلانی- کریدل اصلاح شده (۱۵۹میلی‌متر) و در مدل OPTIWAT روش جنسن- هیز اصلاح شده (۱۶۱/۴ میلی‌متر) نزدیک‌ترین مقدار به تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط روش سطح شار صفر را داشتند.

کلید واژه‌ها: تبخیر، تعرق، سطح شار صفر، مالچ.

Effect of Wood, Sand, and Tire Chips Mulches on Evapotranspiration Using ZFP Model

J. Abedi-Koupai[1], S. F. Mousavi[2] and M. Rahmani[3]

1- Professor Department of Water Engineering College of Agriculture, Isfahan University of Technology.
2- Professor Department of Civil Engineering University of Semnan.
3- Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Received: 8Oct. 2012 Accepted: 1 May 2013

www.SID.ir

Archive of SID

Abstract

One method of determining evapotranspiration is zero flux plane (ZFP). This method estimate the evapotranspiration based on water content and soil suction. This method can also estimate the value of evaporation, evapotranspiration and ground water recharge. The data used in this study were obtained from a field experiment at Isfahan University of Technology. The experiment was factorial design [3×8] in the basic design of randomized complete blocks that the first factor was the types of mulch and the second factor was the depth of soil mulch. The field trial was conducted for 44 days. Results obtained from the ZFP model was compared with Ref-ET and OPTIWAT models. The experiment consisted of wood, sand and tire chips mulches with 2.5 and 5 cm thickness in the plots. Three plots were planted with grass and three plots left uncovered. The results showed that the depth of ZFP varied in different mulches. The highest ZFP depth was related to the uncovered plot and the lowest ZFP depth was related to the plot with 5 cm sand thickness. the results indicated that the experiment plot with no mulch had the greatest evapotranspiration (178 mm) and then woody chips mulch with a thickness of 5 cm, tire chips mulch with a thickness of 5 cm, tire chips mulch with a thickness of 2.5 cm, sandy mulch with a thickness of 2.5 cm, the woody chips mulch with a thickness of 2.5 cm and sandy mulch with a thickness of 5 cm, had more evapotranspiration, respectively. the results showed that the amount of evapotranspiration obtained by the ZFP model with the results of the Ref-ET and OPTIWAT model, were different. Ref-ET and OPTIWAT models under-estimated the actual evapotranspiration obtained by ZFP. In Ref-ET model, the equation of modified Blany-Cridle had the closest estimation (159 mm) to the evapotranspiration determined by ZFP model. In OPTIWAT model, the modified Jensen-Haise method had the nearest estimation (161.4 mm) to the ZFP model.

Key words: Evaporation, Transpiration, Zero flux plane, Mulch.

مقدمه

تبخیر از سطح خاک بخش مهمی از بیلان آب بوده و به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک، زمین‌های بایر و دیم‌زارها می‌توان آن را جزء غالب بیلان آب دانست. ممکن است بخش بزرگی از آب باران که به سطح خاک می‌رسد، بر اثر تبخیر تلف شود. حتی هنگامی که سطح خاک دارای پوشش گیاهی است، بسته به روش آبیاری موجود، نوع گیاه و مرحله رشد آن حدود ۷۹-۱۰ درصد از کل تبخیر و تعرق را تبخیر از سطح خاک تشکیل می‌دهد (زارعی، ۱۳۸۱). یکی از روش‌های تعیین تبخیر و تعرق، روش سطح شار صفر است که بر اساس رطوبت خاک و مکش موجود عمل می‌کند. از این روش در اندازه‌گیری یا تخمین مقدار تبخیر، تبخیر و تعرق، تغذیه آب‌های زیرزمینی و دیگر فرایندهای هیدرولوژیک استفاده می‌شود (افتخار و صفدر[1]، ۲۰۰۴).

با توجه به مشکلات نگهداری، آبیاری و تبخیر و تعرق زیاد از سطح چمن، امروزه اکثر طراحان فضای سبز جهت صرفه‌جویی در میزان آبیاری و هزینه‌های نگهداری فضای سبز، از انواع مالچ که دارای خواص و امتیازات برجسته می‌باشند، استفاده می‌نمایند. اگر سطح خاک به وسیله لایه‌ای از مالچ پوشیده شود، در این صورت توزیع مجددی در رطوبت خاک صورت می‌گیرد. در این حالت، میزان تبخیر کمتر از حالتی است که سطح خاک بدون پوشش مالچ است. از آثار مواد مالچی می‌توان به جلوگیری از متراکم شدن سطح خاک، کاهش تبخیر، جلوگیری از برخورد مستقیم اشعه خورشید به سطح خاک، تقلیل سرعت جریان آب در سطح خاک و کم شدن میزان فرسایش سطحی خاک اشاره نمود (گرانولت و همکاران [2]، ۱۹۸۹; مونتاگو و همکاران[3]، ۲۰۰۷). پژوهشگران (ایدسو و همکاران[4]، ۱۹۷۴ ; واریک[5]، ۲۰۰۲، عابدی کوپایی و همکاران، ۱۹۹۵) با فرض ثابت بودن شرایط خارجی مؤثر بر تبخیر، این فرایند را در سه مرحله متمایز به شرح زیر توضیح داده‌اند:

الف- تبخیر با شدت ثابت: این مرحله هنگامی رخ می‌دهد که خاک خیس بوده و متناسب با نیاز تبخیری اتمسفر، قابلیت هدایت آب از خاک به ناحیه تبخیر شونده وجود دارد. در طول این مرحله، شدت تبخیر به وسیله شرایط جوی همچون تشعشع، باد، دما و رطوبت هوا محدود می‌شود. در اقلیم‌های خشک، مدت زمان این مرحله معمولاً کوتاه بوده و ممکن است تنها به چند ساعت و یا چند روز محدود شود.

ب- تبخیر با شدت نزولی: در این مرحله، رطوبت لایه‌های پایین‌تر بر اثر خیز موئینگی به سطح خاک آمده تا کاهش رطوبت خاک سطحی را تا جایی که شرایط اقلیمی و خاک اجازه می‌دهد، جبران کند. مدت زمان تداوم این مرحله معمولاً طولانی‌تر از مرحله نخست است.

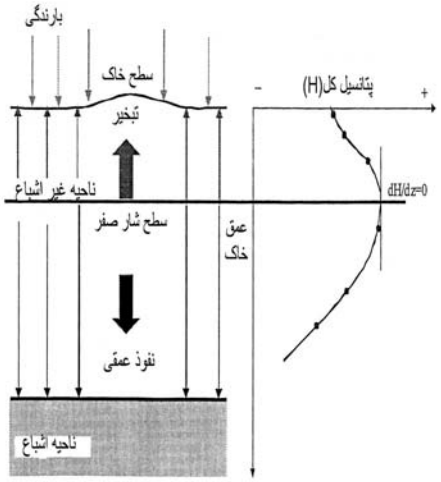
ج- تبخیر باقیمانده با شدت کم: این مرحله پس از خشک شدن بیش از حد لایه سطحی خاک و توقف هدایت رطوبت در نیمرخ خاک آغاز می‌شود. در این مرحله، انتقال آب از میان لایه خشک شده به وسیله فرایند آرام پخشیدگی بخار آب صورت می‌گیرد.

1- Iftikhar and safdar

2- Groenvelt et al.
3- Montague et al.
4- Idso et al.
5- Warrick et al.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- مفهوم روش سطح شار صفر برای تعیین میزان تبخیر و تعرق

مرحله سوم تبخیر معمولاً به صورت ماندگار روزها، هفته‌ها و حتی ماه‌ها تداوم دارد. از طرفی اندازه‌گیری تبخیر و تعرق ساده نمی‌باشد و برای تعیین آن، تجهیزات خاص و اندازه‌گیری دقیق عوامل فیزیکی یا موازنه آب خاک مورد نیاز است. روش تعیین تبخیر و تعرق بستگی کامل به چگونگی آب و هوا در محیط و چگونگی وضعیت ساختمان داخلی سیستم خاک و گیاه دارد. به طور کلی روش‌هایی که برای تخمین تبخیر و تعرق به کار برده می‌شوند در دو گروه اصلی روش های مستقیم و روش‌های محاسبه‌ای قرار می‌گیرند (علیزاده، ۱۳۸۳).

در روش سطح شار صفر، یک سطح افقی در پروفیل خاک که در آن پتانسیل هیدرولیکی تغییر جهت می‌دهد، تعیین می‌شود. در نقطه تغییر جهت، شیب هیدرولیکی صفر است و در نتیجه حرکت آب وجود ندارد، به این ناحیه سطح شار صفر[1] گویند. در شکل (۱) مفهوم سطح شار صفر قابل درک است (مگدی و همکاران[2]، ۲۰۰۳).

این روش با استفاده از داده‌های مربوط به خاک و معادله‌های موجود، مقادیر تبخیر و تعرق را تخمین می‌زند.

مگدی و همکاران (۲۰۰۳) ابتدا با انجام آزمایش‌هایی به تعریف مفهوم ZFP و محاسبات ریاضی آن پرداختند. آنها نشان دادند که طبق این روش، میزان تبخیر دوره مورد نظر برابر بارندگی به اضافه تغییر در محتوای حجمی آب خاک است. آنها رابطه (۱) را برای میزان تبخیر بیان کردند:

$$E = R + \int_{0}^{z_0(t_1)} \theta(t_1)\,dz - \int_{0}^{z_0(t_2)} \theta(t_2)\,dz \qquad (۱)$$

که در آن، E: تبخیر (میلی‌متر بر روز) طی دوره زمانی t_1 و t_2، R: بارندگی (میلی‌متر)، z: عمق اندازه‌گیری (مثبت به طرف پایین برحسب میلی‌متر)، θ: محتوای حجمی آب (درصد)، و $z_0(t)$: عمق سطح شار صفر در زمان t است.

تونی و همکاران[3] (۱۹۷۹) تبخیر از سطح خاک بدون پوشش را در کوتاه‌مدت طی پنج روز با روش سطح شار صفر و مقایسه با روش توازن انرژی تخمین زدند و دریافتند که نتایج هر دو روش مطابقت خوبی با هم داشته و روش سطح شار صفر تبخیر کوتاه مدت را به خوبی برآورد می‌کند.

کیرچ[4] (۱۹۹۳) جهت تخمین تبخیر و تعرق واقعی در مزرعه از روش سطح شار صفر در خاک لوم رسی که ریشه گیاهان مزرعه حدود ۴۰ سانتی‌متر بود استفاده کرد و حرکت سطح شار صفر را در دوره های بلند مدت ۲۰، ۱۲ و ۱۰ روزه بررسی نمود و نتیجه گرفت که روش سطح شار صفر تبخیر بلند مدت را به خوبی برآورد کرده و عمق سطح شار صفر در فصل تابستان بیشتر از زمستان بوده و در فصل زمستان این عمق ثابت می‌شود.

مگدی و همکاران (۲۰۰۴) همچنین در تحقیقی دیگر تأثیر منبع آب دوره‌ای برای فهم رفتار و حرکت سطح شار صفر در خاک غیر اشباع را در شرایط حضور و عدم حضور نمک بررسی کردند. برای اجرای این آزمایش، آنها خاک لوم رسی را در دو ستون ریختند. سرعت ورود آب موجود که داخل ستون‌ها می‌شد ۱۰میلی‌متر در سه روز بود. در شرایط عدم حضور نمک پس از یک ماه نمونه برداری، آنها در عمق ۳۰ سانتی‌متری به سطح شار صفر و در حالت وجود نمک در آب آبیاری در عمق ۱۸-۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک به سطح شار صفر که در آن هیچ‌گونه حرکت آبی وجود ندارد، رسیدند.

1- ZFP (Zero Flux Plane)
2- Magdi et al.
3-Thony et al.
4- Kirsch

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه

پارامتر	عمق(سانتی‌متر)		
	۰-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۵۰
درصد رس	۳۸	۱۸	۲۰
درصد سیلت	۴۱	۴۸	۱۶
درصد شن	۲۱	۳۴	۶۴
جرم مخصوص ظاهری(g/cm^3)	۱/۴۲	۱/۲۷	۱/۳۲
جرم مخصوص واقعی(g/cm^3)	۲/۷۰	۲/۶۵	۲/۶۵
بافت خاک	لوم رسی	لوم	لوم رسی شنی

نشاط (۱۳۸۵) در زمینه تبخیر غیرماندگار از سطح خاک بدون پوشش گیاهی در سه ایستگاه تربت حیدریه، کرج و مشهد برای دو نوع خاک لوم رسی و لوم سیلتی آزمایش‌های لازم را انجام داده و نتایج را با مدل بیلان آب مقایسه کرده است. در این بررسی از روش سطح شار صفر با شرایط اولیه و مرزی حاکم بر فرایند تبخیر، که مرز زیرین آن عمق نامحدود است، استفاده شده است. مقادیر تبخیر نهایی در کرج، تربت حیدریه و مشهد به ترتیب برابر ۱۱۶، ۱۷۴ و ۲۹۷ میلی‌متر در دوره‌های زمانی ۲۰، ۴۴ و ۶۲ روز در ماه‌های تیر، شهریور و مهر به دست آمد. نتایج به دست آمده از مدل بیلان آب با روش سطح شار صفر اختلافی کمتر از ۵ درصد داشت که در آزمایش‌های صحرایی از اهمیت چندانی برخوردار نیست بنابراین روش سطح شار صفر توانست مقدار تبخیر را به خوبی تخمین بزند.

مدل Ref-ET در سال ۲۰۰۰ توسط آلن و همکاران در دانشگاه آیداهو نوشته شده است. این مدل تبخیر و تعرق را به شکل ماهانه، روزانه، ساعتی و کمتر محاسبه می‌کند. ورودی‌های استفاده شده در این مدل به منظور تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل در گیاه مرجع چمن شامل مقادیر حداقل و حداکثر دمای روزانه، سرعت جریان باد در ارتفاع ۱۰ متری خاک، میانگین دمای دماسنج تر و خشک، فشار هوا، نقطه شبنم، تعداد ساعات آفتابی، تابش خالص خورشیدی، مختصات جغرافیایی منطقه و ارتفاع از سطح دریا به صورت روزانه می‌باشد (آلن[1]، ۲۰۰۰).

بررسی‌های فائو از نظر مقایسه روش‌های مختلف تخمین نیاز آبی با نتایجی که از مطالعه‌های لایسیمتری در نقاط مختلف آب و هوایی به دست آمده است، نشان می‌دهد در شرایطی که داده‌های هواشناسی وجود داشته باشد، روش موسوم به پنمن- مانتیث- فائو (فائو۵۶) و در وضعیتی که کمبود آمار هواشناسی وجود داشته باشد و فقط آمار دمای هوا وجود دارد، روش موسوم به هارگریوز بیشترین دقت را دارند. نرم افزار OPTIWAT بر اساس نشریه شماره ۵۶ فائو جهت محاسبه نیاز آبی گیاهان در شرایط استاندارد (بدون وجود تنش رطوبتی یا شوری) و غیر استاندارد (وجود تنش رطوبتی یا شوری) تهیه گردیده است. ویژگی‌های کلی این نرم-افزار عبارتند از: کاربری آسان، بانک‌های اطلاعاتی حاوی آمار روزانه کلیه ایستگاه‌های هواشناسی کشور، فهرست دشت‌های موجود در هر استان و مشخصات عمومی آنها و همچنین فهرست تمامی گیاهان زراعی و باغی کشت شده در هر دشت و مشخصات آنها که در صورت عدم دسترسی به اطلاعات محلی می‌توان از این اطلاعات برای تخمین‌های اولیه استفاده نمود. این برنامه قادر است با توجه به ناحیه اقلیمی هر منطقه با اعمال ضرایب اصلاحی، بعضی از پارامترهای هواشناسی متأثر از نوع ناحیه اقلیمی را اصلاح نموده و سپس در محاسبات به کار گیرد (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶).

در این مطالعه به بررسی چگونگی برآورد مقادیر تبخیر و تعرق توسط روش سطح شار صفر در حضور انواع مالچ، چمن و خاک بدون پوشش با استفاده از داده‌های رطوبت خاک و مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط این روش با تبخیر و تعرق بدست آمده از روی داده‌های هواشناسی توسط مدل های Ref-ET و OPTIWAT پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در ۲۴ کرت با سه تکرار برای هر تیمار و هر کدام به مساحت یک متر مربع، به منظور تعیین میزان تبخیر و تعرق از پروفیل خاک (در حضور انواع مالچ های چوبی، سنگی، تراشه‌های لاستیکی، چمن و خاک بدون پوشش) به روش سطح شار صفر، به صورت طرح فاکتوریل [۳×۸] در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی که فاکتور اول شامل انواع مالچ‌های چوبی، سنگی و تراشه‌های لاستیکی با دو ضخامت ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر (در مجموع شش تیمار)، چمن و خاک بدون پوشش بوده و فاکتور دوم سه عمق از خاک (۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر) بود، به مدت ۴۴ روز انجام شد. برای شبیه سازی شرایط واقعی، دو عدد نهال زرشک زینتی برگ قرمز در هر کرت کاشته شد. با توجه به آمار هواشناسی ۱۰ ساله، میانگین دمای سالانه در دانشگاه صنعتی

1- Allen

www.SID.ir

Archive of SID

اصفهان ۱۷/۰ درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به ترتیب تیرماه و دی‌ماه می‌باشند. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۳۴ میلی‌متر، متوسط رطوبت سالانه ۳۸ درصد، حداقل رطوبت نسبی در شهریورماه (۱۵/۵ درصد) و حداکثر آن در اسفند-ماه (۸۵/۷ درصد) گزارش شده است.

جدول (۱) خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه در اعماق ۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک را در شروع آزمایش نشان می‌دهد.

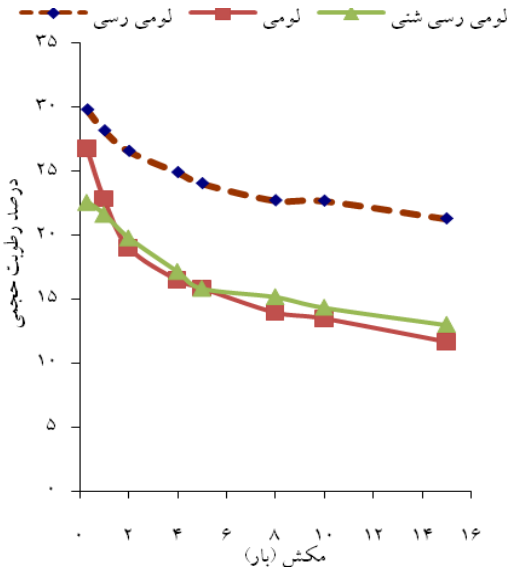
در شکل (۲) منحنی‌های مشخصه رطوبتی سه نوع خاک مورد آزمایش نشان داده شده است.

میزان آب آبیاری لازم در سه عمق ۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۵۰-۳۰ از روابط (۲) و (۳) محاسبه گردید:

$$i = (\theta_{fc} - \theta_i) \times d \qquad (۲)$$

$$I = \sum_{i=1}^{n} i_n \qquad (۳)$$

که در آنها، i: مقدار آب مربوط به هر لایه خاک (سانتی‌متر)، θ_{fc}: رطوبت در حد ظرفیت زراعی (درصد) ، θ_i: رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (درصد)، d : ضخامت لایه‌های خاک (سانتی‌متر)، I: مجموع آب مورد نیاز جهت آبیاری تا عمق ۵۰ سانتی‌متر (مجموع آب سه لایه خاک) و n: تعداد لایه‌های خاک است. روز بعد از آبیاری، نمونه برداری از کرت‌ها آغاز و تا زمانی که تغییرات رطوبت خاک نسبت به زمان ثابت گردید ادامه داده شد. جهت تعیین رطوبت حجمی خاک در اعماق مورد نظر از سامانه اتوماتیک اندازه‌گیری و ثبت رایانه‌ای رطوبت و دمای خاک (IDRG SMS-T1) استفاده گردید. این سامانه از دو بخش



شکل ۲- منحنی مشخصه رطوبتی سه نوع خاک مورد آزمایش

جدول ۲- رطوبت حجمی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک

عمق خاک(سانتی‌متر)	نوع خاک	رطوبت ظرفیت زراعی (cm^3/cm^3)	رطوبت پژمردگی (cm^3/cm^3)
۱۵-۰	لوم رسی	۰/۲۹۸	۰/۲۱۳
۳۰-۱۵	لومی	۰/۲۶۸	۰/۱۱۷
۵۰-۳۰	لوم رسی شنی	۰/۲۲۶	۰/۱۳

اصلی تشکیل شده است که عبارتند از کاوشگر رطوبت و دماسنجی که در داخل خاک دفن می‌گردد و یک دستگاه اندازه‌گیری که از یک طرف به کاوشگر و از سمت دیگر به کامپیوتر متصل می‌شود. یک برنامه کامپیوتری اختصاصی نیز دارد که امکان پایش و ذخیره داده های برداشت شده در کامپیوتر و حافظه دستگاه اندازه‌گیری و واسنجی کاوشگر را فراهم می‌کند.

طبق مفاهیم روش سطح شار صفر، میزان تغییرات رطوبت پروفیل خاک نسبت به شرایط اولیه در بالای ناحیه ZFP نشان

www.SID.ir

Archive of SID

دهنده میزان تبخیر و تعرق از پروفیل خاک است. در نتیجه، برای تعیین تبخیر و تعرق، ابتدا منحنی‌های رطوبت حجمی- عمق و پتانسیل هیدرولیکی- عمق برای هر کرت به طور جداگانه رسم و بعد سطح شار صفر در هر کرت تعیین شد. از روی منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق، عمق تبخیر مشخص و با استفاده از رابطه (۴) و منحنی رطوبت- عمق مقدار تبخیر و تعرق تعیین گردید:

(۴)

$$ET_a = \sum_{grownd}^{zfp} \{\theta_1(t_1) - \theta_2(t_2)\} L_1$$

که در آن، ET_a: تبخیر و تعرق واقعی، θ_1 و θ_2: مقدار رطوبت خاک در زمان‌های t_1 و t_2، L_1: طول فواصل نمونه (سانتی‌متر)، و t_1 و t_2: دوره‌های زمانی به ترتیب در شروع و انتهای آزمایش می‌باشد.

برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه نیاز به ضریب گیاهی زرشک زینتی که جزء گیاهان فضای سبز است می‌باشد، که طبق نظر سازمان منابع آب کالیفرنیا باید فاکتورهای مختلفی را جهت محاسبه ضریب گیاهی گیاهان فضای سبز در نظر گرفت که بیان-کننده شرایط موجود در هر گیاه است. ضریب گیاهی فضای سبز ترکیبی از سه عامل K_s ، K_{mc} و K_d است که به ترتیب شامل ضریب ویژه گیاه، ضریب موقعیت جغرافیایی و ضریب تراکم گیاه هستند (کاستلو و جونز[1]، ۲۰۰۰). طبق فرمول (۵) می‌توان ضریب گیاهی فضای سبز را محاسبه کرد:

$$K_L = K_s \times K_{mc} \times K_d \qquad (۵)$$

ضریب ویژه گیاهی (K_s) بر اساس نوع گیاه و نیاز آن به آب در مراحل مختلف رشد بین ۰/۱ تا ۰/۹ متغیر است. ضریب موقعیت جغرافیایی (K_{mc}) بین ۰/۵ تا ۱/۴ متغیر است و معمولاً برای گیاهان فضای سبز برابر یک در نظر گرفته می‌شود. ضریب تراکم گیاهی (K_d) بین ۰/۵ تا ۱/۳ با توجه به مساحتی که گیاه اشغال کرده است متفاوت می‌باشد. این سازمان مراحل رشد گیاهان را بر حسب آبی که نیاز دارند به چهار ۴ گروه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی کرده است. چون زرشک زینتی گیاهی است که در گروه متوسط قرار می‌گیرد لذا مقدار (K_S) آن حدود ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. دو فاکتور بعدی نیز به طور متوسط برابر یک در نظر گرفته می‌شود، که در کل مقدار ضریب گیاهی برای زرشک زینتی برابر ۰/۵ به دست می‌آید (کاستلو و جونز[2]، ۲۰۰۰).

پس از جمع آوری داده های صحرایی مورد نظر که شامل رطوبت حجمی خاک و داده های هواشناسی شامل دمای حداکثر و حداقل، سرعت باد، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی و تبخیر از تشت بود، عمق آب آبیاری تعیین و از روی منحنی های رطوبت خاک- عمق و منحنی های پتانسیل هیدرولیکی- عمق و با احتساب ضریب گیاهی زرشک زینتی میزان تبخیر وتعرق واقعی با معادله‌های مدل ZFP (رابطه ۴) محاسبه گردید و نتایج این مدل با نتایج مدل های Ref–ET و OPTIWAT که در آنها جهت محاسبه تبخیر و تعرق از داده های هواشناسی استفاده می-شود، مقایسه گردید. لازم به ذکر است که تبخیر و تعرق پتانسیل در مدل‌هایRef–ET و OPTIWAT به تبخیر و تعرق واقعی تبدیل گردیده و سپس نتایج مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین تحلیل آماری داده‌های صحرایی مربوط به تیمارهای آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS انجام گردید.

نتایج

در طول مدت انجام آزمایش داده‌های هواشناسی شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، میانگین دما، سرعت باد و ساعات آفتابی به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی دانشگاه صنعتی اصفهان تعیین گردید. رطوبت نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم در هر سه بافت خاک توسط دستگاه صفحات فشاری تعیین گردید که نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

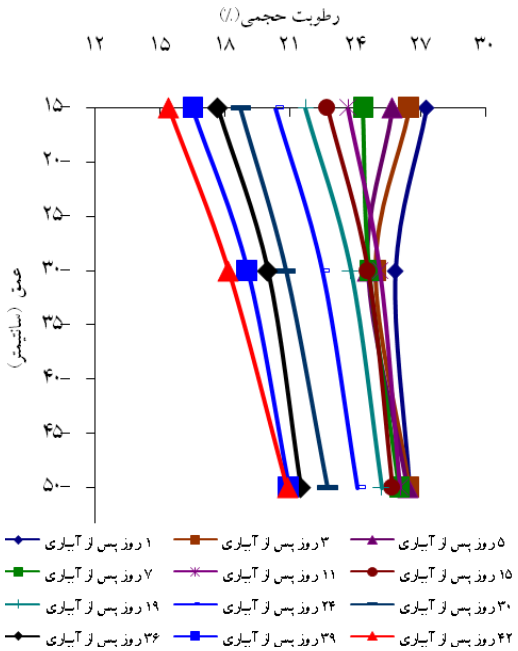
با توجه به مقادیر رطوبت حجمی ظرفیت زراعی و رطوبت حجمی خاک ابتدا با استفاده از معادله‌های (۲) و (۳) عمق آب آبیاری تعیین، سپس آبیاری کرت های آزمایشی فقط یک بار در ابتدای آزمایش انجام شد و روز بعد از آبیاری نمونه برداری از کرت ها آغاز شده و تا زمانی که تغییرات رطوبت خاک نسبت به زمان ثابت گردید ادامه داده شد. میانگین مربعات رطوبت‌های حجمی اندازه گیری شده در تجزیه واریانس به تفکیک هر مرحله از آزمایش در سطح پنج درصد و یک هزارم معنی دار بود. منحنی-های رطوبت- عمق برای هر کرت با مالچ های مختلف در طول آزمایش در شکل‌های (۳) تا (۱۰) رسم گردیده است.

در منحنی های رطوبت- عمق انواع مالچ مشخص است که رطوبت در روز بعد از آبیاری در لایه سطحی خاک بیشتر از لایه های زیرین خاک است و تا زمانی که آب در لایه سطحی خاک به اندازه کافی جهت تبخیر وجود داشته باشد، روند تغییرات رطوبت در پروفیل خاک منظم نیست زیرا به علت وجود مالچ در سطح خاک همواره توزیع مجدد در طول شبانه‌روز در رطوبت خاک صورت می‌گیرد. یک ماه پس از شروع آزمایش تا پایان آزمایش، روند تغییرات رطوبت تقریباً یکسان شده و رفتار خاک مشابه رفتار خاکی شده که هیچ پوششی ندارد. در مورد تیمار چمن و تیمار بدون پوشش روند تغییرات رطوبت در پروفیل خاک تقریباً منظم است و رطوبت لایه اول همواره کمتر از رطوبت لایه دوم و رطوبت لایه دوم همواره کمتر از رطوبت لایه سوم است. در این

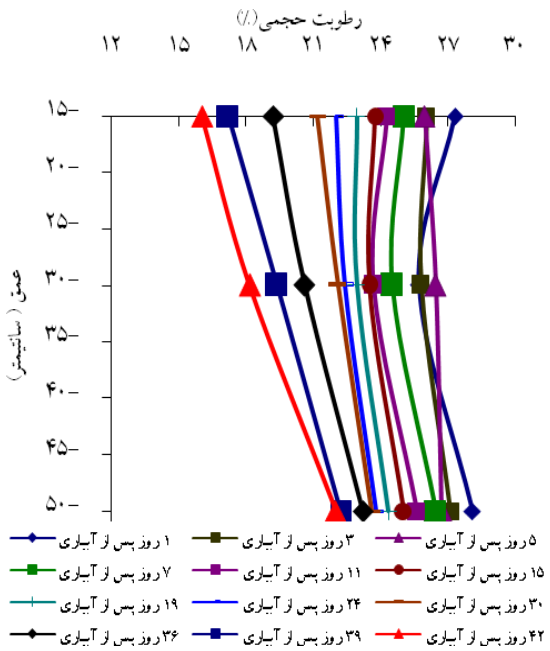
1- Costello and Jones
2- Costello and Jones

www.SID.ir

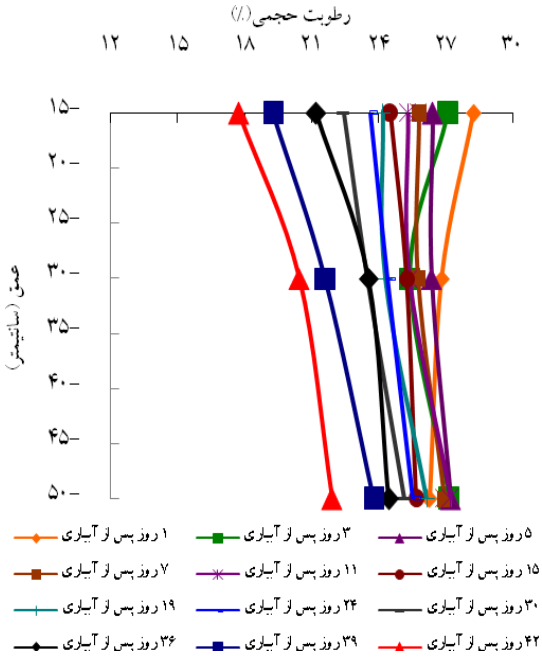
Archive of SID



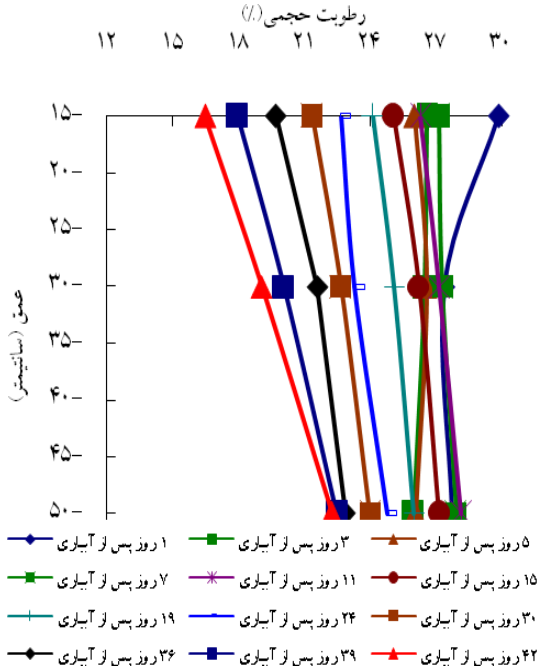
شکل ۳- منحنی رطوبت خاک- عمق در مالچ لاستیکی ۲/۵ سانتی‌متر



شکل ۵- منحنی رطوبت خاک- عمق در مالچ سنگی ۲/۵ سانتی‌متر



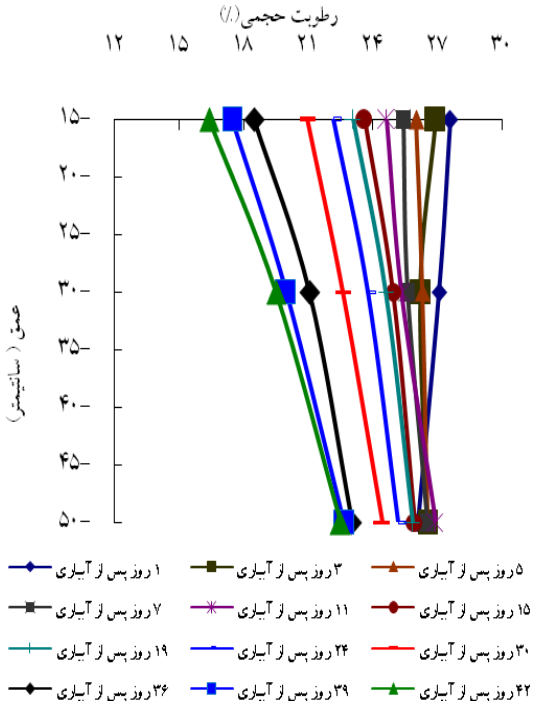
شکل ٤- منحنی رطوبت خاک- عمق در مالچ لاستیکی ۵ سانتی‌متر



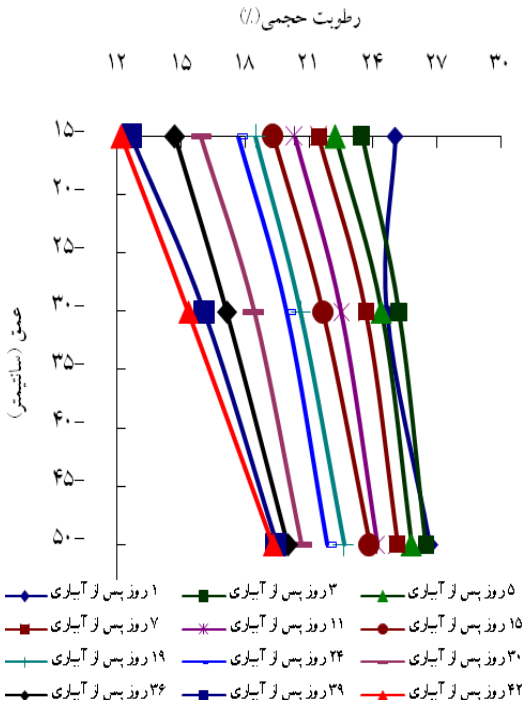
شکل ٦- منحنی رطوبت خاک- عمق در مالچ سنگی ۵ سانتی‌متر

www.SID.ir

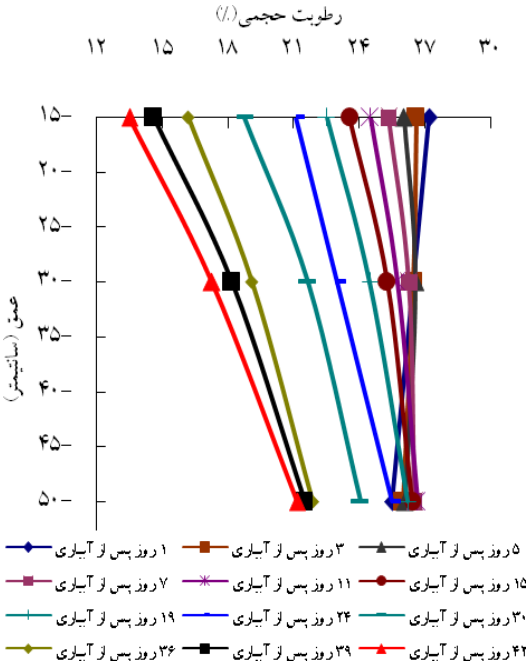
Archive of SID



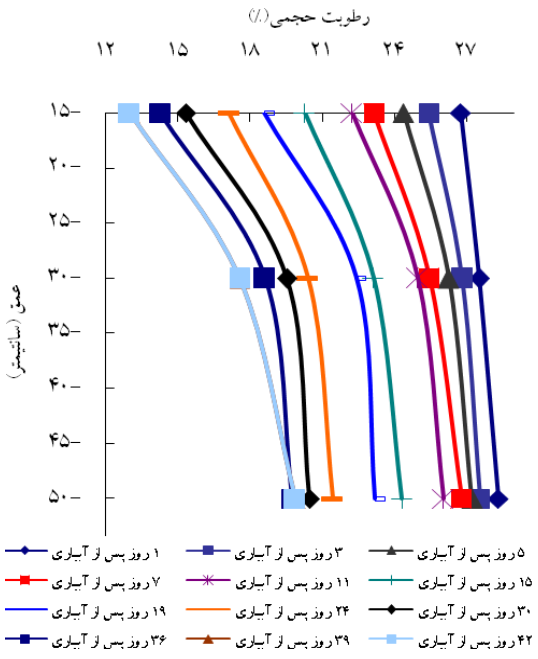
شکل ۷- منحنی رطوبت خاک- عمق در مالچ چوبی ۲/۵ سانتی‌متر



شکل۹- منحنی رطوبت خاک- عمق در تیمار چمن



شکل ۸- منحنی رطوبت خاک- عمق در مالچ چوبی ۵ سانتی‌متر



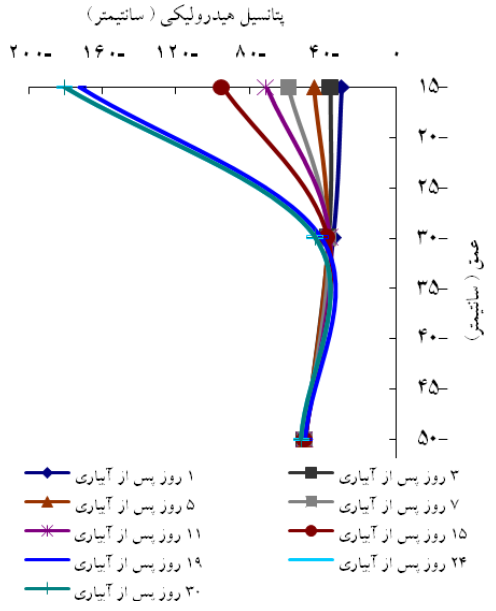
شکل ۱۰- منحنی رطوبت خاک- عمق در کرت بدون پوشش

www.SID.ir

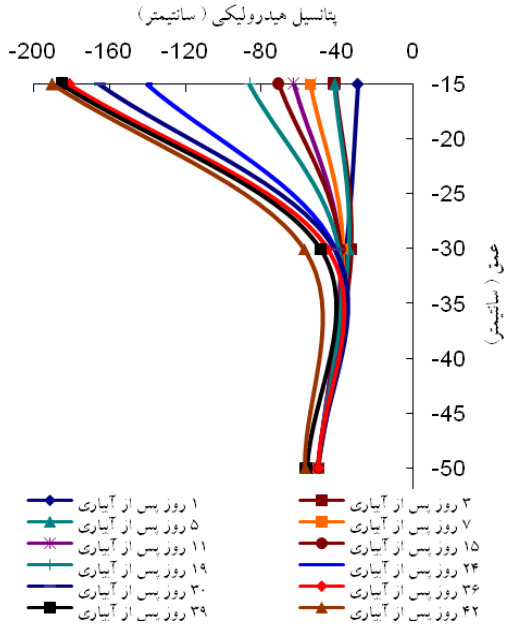
Archive of SID

حالت توزیع مجدد رطوبت در پروفیل خاک به ندرت مشاهده می‌شود. میزان تغییرات رطوبت پروفیل خاک نسبت به شرایط اولیه در بالای سطح شار صفر نشان دهنده میزان تبخیر و تعرق از پروفیل خاک است. در نتیجه، برای تعیین تبخیر و تعرق ابتدا منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق برای هرکرت به طور جداگانه رسم و بعد سطح ZFP تعیین شد. از روی منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق، عمق تبخیر و تعرق مشخص و با استفاده از رابطه (۴) و منحنی های رطوبت- عمق مقدار تبخیر و تعرق تعیین گردید.

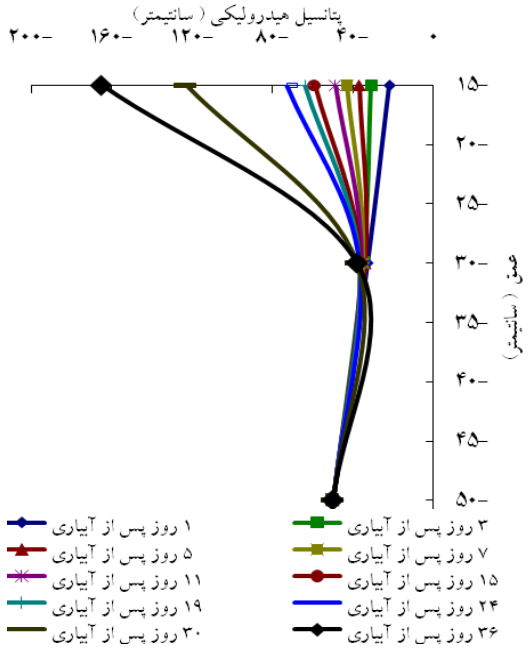
منحنی‌های پتانسیل هیدرولیکی- عمق در شکل‌های (۱۱) تا (۱۸) آورده شده است.



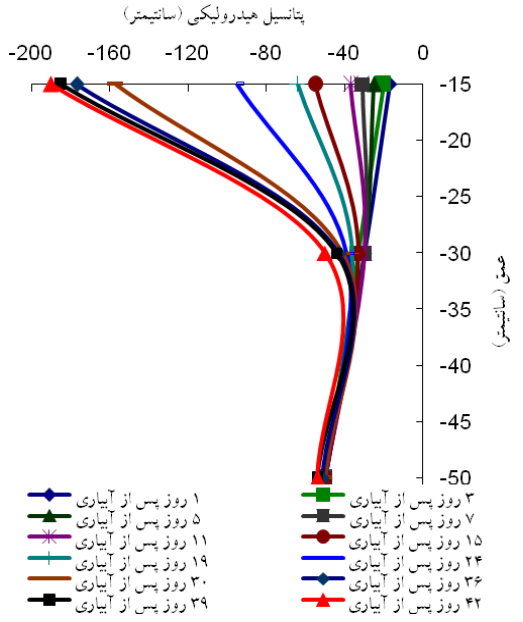
شکل ۱۱- منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق در مالچ لاستیکی ۲/۵ سانتی‌متر



شکل ۱۳- منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق درمالچ سنگی ۲/۵ سانتی‌متر



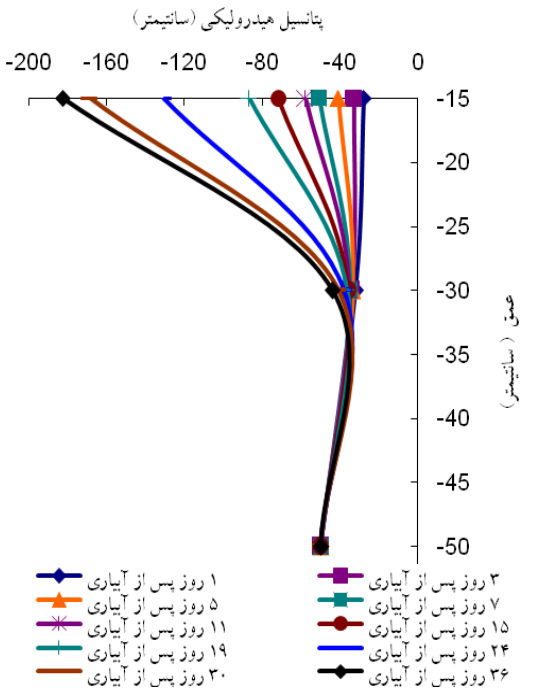
شکل ۱۲- منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق در مالچ لاستیکی ۵ سانتی‌متر



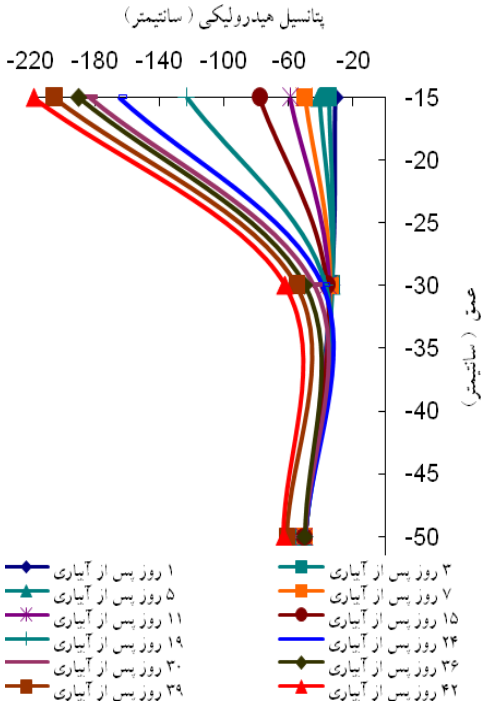
شکل ۱٤- منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق در مالچ سنگی ۵ سانتی‌متر

www.SID.ir

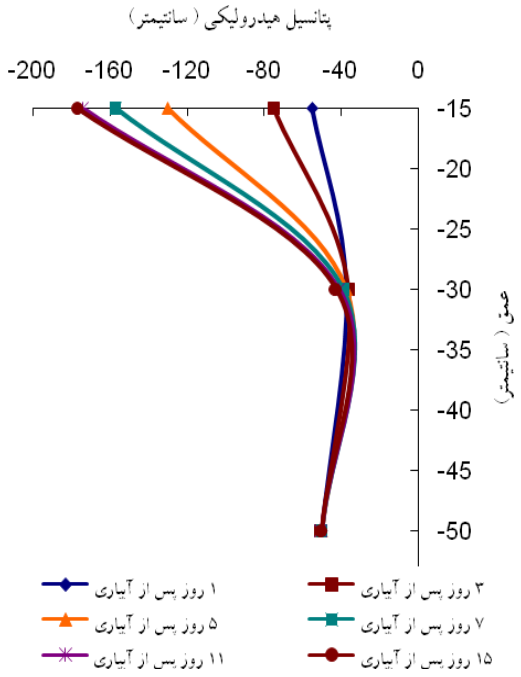
Archive of SID



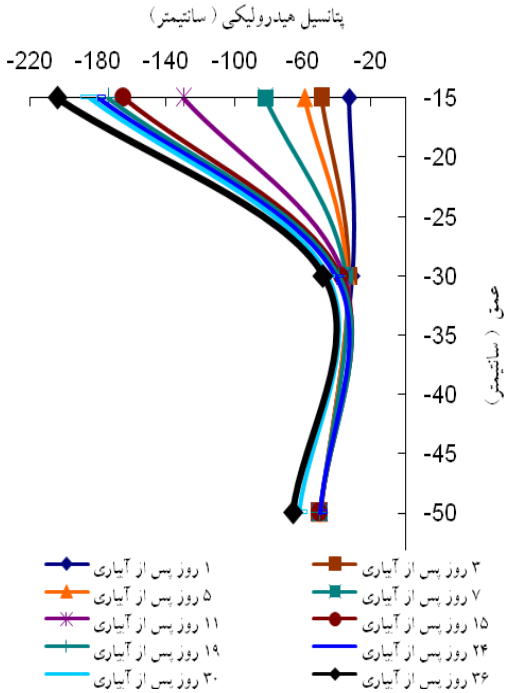
شکل ۱۵- منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق در مالچ چوبی ۲/۵ سانتی‌متر



شکل ۱۶- منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق درمالچ چوبی ۵ سانتی‌متر



شکل ۱۷- منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق در چمن



شکل۱۸- منحنی پتانسیل هیدرولیکی- عمق در کرت بدون پوشش

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش ZFP در کل دوره

تیمار	میزان تبخیر و تعرق به روش ZFP (mm)
بدون پوشش (بایر)	۱۷۸/۰
چمن	۱۷۱/۵
مالچ چوبی ۵ سانتی‌متر	۱۶۶/۰
مالچ لاستیکی ۵ سانتی‌متر	۱۶۲/۸
مالچ لاستیکی۲/۵ سانتی‌متر	۱۴۶/۸
مالچ سنگی ۲/۵ سانتی‌متر	۱۴۱/۰
مالچ چوبی ۲/۵ سانتی‌متر	۱۴۰/۵
مالچ سنگی ۵ سانتی‌متر	۱۲۶/۵

نتایج تحلیل شکل‌های (۱۱) تا (۱۸) نشان داد که عمق سطح شار صفر در حضور مالچ‌های مختلف متفاوت است. در این منحنی‌ها برای هر تیمار در روز اول نمونه‌برداری رطوبت خاک در حد رطوبت ظرفیت زراعی بوده است و هرچه آب خاک کمتر شده است میزان قدر مطلق پتانسیل هیدرولیکی نیز کمتر گردیده، یا به عبارتی مقدار آن منفی‌تر شده است. بیشترین عمق ZFP در کرت بدون پوشش در ۳۸ سانتی‌متری از سطح خاک تشکیل شد. کمترین عمق ZFP در ۳۲ سانتی‌متری از سطح خاک در کرتی تشکیل گردید که پوشش سنگی به ضخامت پنج سانتی‌متر داشت. پس از تعیین عمق سطح شار صفر، با استفاده از فرمول های موجود مقدار تبخیر و تعرق در جدول (۳) در کل دوره آزمایش و برای هر تیمار ارائه شده است.

طبق جدول (۳)، کرتی که بدون پوشش بود بیشترین میزان تبخیر و تعرق را داشت و پس از آن چمن، مالچ چوبی به ضخامت ۵ سانتی‌متر، مالچ لاستیکی به ضخامت ۵ سانتی‌متر، مالچ لاستیکی به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر، مالچ سنگی به ضخامت ۲/۵ سانتی-متر، مالچ چوبی به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر و مالچ سنگی به ضخامت ۵ سانتی‌متر به ترتیب بیشترین میزان تبخیر و تعرق را داشتند.

مقایسه مدل‌های ZFP و Ref-ET

از مقایسه مقادیر به دست آمده برای تبخیر و تعرق در مدل Ref-ET با تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط مدل ZFP مشخص شد که روش ASCE پنمن- مانتیث ۱۳ درصد، پنمن- مانتیث- فائو ۱۳ درصد، روش پنمن- کیمبرلی ۱۵ درصد، روش بلانی- کریدل اصلاح شده ۱۰ درصد، روش تشت تبخیر ۱۸ درصد، روش هارگریوز ۲۶ درصد، روش پریستلی- تیلور ۳۱ درصد، روش ماکینک ۴۴ درصد و روش ترک ۳۸ درصد تبخیر و تعرق را کمتر از تبخیر و تعرق به روش ZFP تخمین می‌زنند. از آنجا که مدل Ref-ET تبخیر و تعرق مرجع را تخمین می‌زند ابتدا آن را با استفاده از ضریب گیاهی به تبخیر و تعرق واقعی تبدیل نموده و سپس مقایسه بین نتایج ZFP و Ref-ET انجام شد.

مقایسه مدل‌های ZFP و OPTIWAT

در نرم افزار OPTIWAT ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن محاسبه شد و سپس با اعمال ضریب گیاهی، تبخیر و تعرق گیاه توسط سه روش پنمن- مانتیث- فائو، هارگریوز- سامانی و جنسن هیز اصلاح شده به دست آمد. از مقایسه مقادیر به دست آمده برای تبخیر و تعرق در مدل OPTIWAT با تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط مدل ZFP مشخص شد که روش پنمن- مانتیث- فائو ۱۶ درصد، روش هارگریوز- سامانی ۱۲ درصد و روش جنسن- هیز اصلاح شده ۹ درصد تبخیر و تعرق را کمتر از تبخیر و تعرق به روش ZFP تخمین می‌زنند.

نشاط (۱۳۸۵) با انجام آزمایش در زمینه تبخیر غیرماندگار به روش ZFP از سطح خاک بدون پوشش گیاهی دریافت که نتایج به دست آمده از مدل بیلان آب با روش ZFP اختلافی کمتر از پنج درصد دارد و روش ZFP مقدار تبخیر را به خوبی تخمین می‌زند. همچنین در دوره های کوتاه مدت و دراز مدت طبق نتایج تحقیقات تونی و همکاران (۱۹۷۹) وکیرچ (۱۹۹۳) می‌توان از روش سطح شار صفر جهت تعیین تبخیر و تعرق استفاده کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به پتانسیل‌یابی روش سطح شار صفر جهت تعیین تبخیر و تعرق از سطح خاک مالچ‌دار و بدون مالچ و مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده از روش مذکور با تبخیر و تعرق به دست آمده توسط مدل‌های Ref-ET و OPTIWAT پرداخته شد و نتایج نشان داد که عمق سطح شار صفر در حضور مالچ‌های مختلف متفاوت است.

طبق معادله‌های روش سطح شار صفر تیمار مالچ سنگی با ضخامت ۵ سانتی‌متر کمترین میزان تبخیر و تعرق و بعد از کرت بدون پوشش و چمن، تیمار مالچ چوبی با ضخامت ۵ سانتی‌متر بیشترین میزان تبخیر و تعرق را در طول آزمایش داشت. علت را می‌توان این گونه توضیح داد که مالچ سنگی مقاومت زیادی در برابر خروج آب از خاک ایجاد می‌کند، تبادلات حرارتی خاک با محیط بیرون را کاهش داده و به عنوان یک سد محافظ، سطح خاک را از اثر باد و نورخورشید حفظ می‌کند، به همین علت تبخیر

www.SID.ir

Archive of SID

از آن کم بوده است. اما مالچ چوبی پس از آبیاری تا ساعت‌ها مرطوب مانده و در برابر باد مقاومتی ندارد و رطوبت رسیده از اعماق به سطح خاک را به خارج از خاک منتقل کرده و تبخیر از آن زیاد است. از طرفی مالچ چوبی به علت ایجاد شرایط مساعد جهت فعالیت و تکثیر میکرو ارگانیسم های خاک، شرایط رطوبتی را برای انجام بهتر عمل تبخیر و تعرق در گیاه و خاک فراهم می‌کند و از آنجا که نتایج آزمایش‌های ما نشان داد که ضخامت ۵ سانتی‌متر از مالچ چوبی تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به ضخامت ۲/۵ سانتی متری دارد شاید دلیل آن این باشد که هر چه ضخامت مالچ چوبی استفاده شده بیشتر باشد اثر آن در کاهش تبخیر و تعرق کمتر است یا اینکه چون ضخامت آن بیشتر است سبب بیشتر گرم شدن سطح خاک شده و آب بیشتری از سطح خاک تبخیر گردیده، یا این افزایش تبخیر و تعرق مربوط به افزایش تعرق از گیاه باشد که به علت افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و در دسترس بودن آب کافی اتفاق افتاده است.

نتیجه مقایسه مدل‌های تخمین میزان تبخیر و تعرق (Ref-ET و OPTIWAT) که از پارامترهای هواشناسی برای تخمین میزان تبخیر و تعرق استفاده گردیده، با روش سطح شار صفر که از پارامترهای خاک جهت تعیین تبخیر و تعرق استفاده می‌کند، نشان می‌دهد که مقدار تبخیر و تعرق به دست آمده توسط مدل ZFP با نتایج مدل‌های Ref-ET و OPTIWAT تفاوت داشته و مدل‌های Ref-ET و OPTIWAT تبخیر و تعرق مرجع را تخمین می‌زنند که بایستی با در نظر گرفتن ضریب گیاهی تبخیر و تعرق واقعی گیاه را محاسبه نمود.

در مدل Ref-ET میزان تبخیر و تعرق به دست آمده توسط روش بلانی- کریدل اصلاح شده نزدیک‌ترین مقدار به تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط روش ZFP را دارد.

در مدل OPTIWAT روش جنسن- هیز اصلاح شده بیشترین مقدار و روش پنمن- مانتیث- فائو کمترین مقدار را برای تبخیر و تعرق برآورد کرده است. در این مدل روش جنسن- هیز اصلاح شده با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه نزدیک‌ترین مقدار به تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط روش ZFP را داشته است.

در ایران به دلیل متفاوت بودن شرایط اقلیمی در نقاط مختلف و همچنین ناقص بودن آمار هواشناسی در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی کشور، شاید نتوان در همه جا از روش‌های ترکیبی و تجربی برای محاسبه نیاز آبی استفاده کرد. در این شرایط استفاده از روش‌هایی که با شرایط اقلیمی و شرایط رطوبتی خاک های ایران سازگاری داشته و پارامترهای هواشناسی کمتری در آنها استفاده شود، توصیه می‌شود لذا روش ZFP از روش‌هایی است که جهت محاسبه تبخیر و تعرق فقط نیاز به اطلاعات رطوبتی خاک دارد و در مناطق خشک و نیمه خشک می‌تواند میزان تبخیر و تعرق را با دقت بالایی برآورد نماید.

منابع

۱- زارعی، ق. ۱۳۸۱. تبخیر غیر ماندگار از خاک بی‌پوشش در حضور سطح ایستابی کم عمق، رساله دکتری، رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۲- علیزاده، ا.، ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ پنجم، صفحه ۳۰۰-۳۰۵.

۳- علیزاده، ا. و غ. کمالی. ۱۳۸۶. راهنمای بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی مصرف آب کشاورزی. راهنمای فارسی موجود در نسخه اول نرم‌افزار OTIWAT.

۴- نشاط، ع. ۱۳۸۵. محاسبه تبخیر غیر ماندگار به روش (Zero Flux Plane) از سطح خاک بدون پوشش گیاهی، مجله علمی- پژوهشی علوم کشاورزی، ۲: ۳۲۷-۳۱۳.

5- Abedi Koupai, J., Swarbrick, G. W. and R. Fell. 1995. Prediction of unsaturated hydraulic conductivity using micro-lysimeter. Proceedings of First International Conference on Unsaturated Soils. UNSAT, 95. Paris, France, pp. 513-518.

6- Allen, R. G. 2000. REF-ET reference evapotranspiration manual software. Available online at http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/.

7- Costello, L. R. and K. S. Jones. 2000. Water use classification of landscape species. A guide to the water needs of landscape plants, University of California Cooperative Extension.

8- Groenvelt, P. H., Van Straaten, P., Rasiah, V. and J. Simpson. 1989. Modifications in evaporation parameters by rock mulches. Soil Technology, 2(3): 279-285.

9- Idso, S. B., Regintao, R. J., Jackson, R. D., Kimball, B. A. and F. S. Nakayama 1974. The three stages of drying of a field soil. Soil Science Society of America Proceedings, 38(5): 831-837

www.SID.ir

Archive of SID

10- Iftikhar, F. and S. Ali, 2004. Impact of different types of mulches on soil moisture. Agriculture Journal, 20(4): 571-573.

11- Kirsch, S. W. 1993. A field test of a soil- based measure of evapotranspiration. Soil Science Journal, 156: 396- 404.

12- Magdi, K., Masaru, S., Masaru, M. and T. Miyazaki. 2003. Current and prospective applications of Zero Flux Plane (ZFP) method. Journal Japanese Society Soil Physics, 95: 75-90.

13- Magdi, K., Masaru, S., Masaru, M. and T. Miyazaki. 2004. Periodical water supply effect on Zero Flux Plane (ZFP) movement: In unsaturated soil with and without salt. Journal Japanese Society Soil Physics ,Available online at http:/www.soil.en.a.u-tokyo.ac.jp- publication.html.

14- Montague, T., McKenney, C., Maurer, M. and B. Winn. 2007. Influence of irrigation volume and mulch on establishment of selected shrub species. Arboriculture and Urban Forestry, 33: 202–209.

15- Thony, J. L., Hamburger, J., Vauclin, M. and G. Vachaud. 1979. Isotopes and radiation in research on Soil. Plant Relationship, 247-258.

16- Warrick, A. W. 2002. Soil physics companion. CRC Press, London, 389 p.

www.SID.ir