مدل ارزیابی اثر بخشی مالچ‌پاشی در افزایش میزان نفوذ عمقی آب باران در دشت شهرکرد

محمد ابراهیم بنی حبیب[1] و بهمن وزیری

دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ banihabib@ut.ac.ir

دانشجوی دکتری منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ b.vaziri@ut.ac.ir

دریافت: 96/9/18 و پذیرش: 97/2/25

چکیده

یکی از مهمترین منابع تأمین آب کشاورزی در مناطق خشک، آب‌های زیرزمینی است. نفوذ باران به داخل زمین به عنوان یکی از منابع تغذیه آبهای زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش کارایی مالچ‌ها در افزایش نفوذ عمقی آب باران در دشت شهرکرد مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور 8 بارش از منحنی‌های شدت مدت فراوانی منطقه با دوره بازگشت 2 و 5 سال انتخاب شد. این بارش‌ها، توسط یک دستگاه باران ساز به صورت مصنوعی در لایسیمترهایی با شرایط یکسان و مالچ‌های متفاوت شامل شن، ماسه، مخلوط شن و ماسه با نسبت یکسان و خاک بدون مالچ ایجاد شد و میزان نفوذ عمقی آنها مورد آزمایش قرار گرفت. طی این آزمایش‌ها تعداد 192 داده برای پارامترهای رطوبت خاک، دمای هوا و نفوذ عمقی باران برداشت گردید. بر این اساس، روابطی جهت برآورد میزان نفوذ عمقی آب باران در هر بارش و برآورد میزان تبخیر از خاک در هریک از این مالچ‌ها و خاک بدون مالچ به طور جداگانه استخراج و کارایی و دقت این روابط به کمک ضریب تبیین و معیار نش-ساتکلیف بررسی شد. نتایج نشان داد که روابط استخراج شده ضریب تبیین در محدوده‌ی0/97-0/98 و معیار نش-ساتکلیف در محدوده‌ی 0/96-0/98 دارند. بر اساس این روابط و معادله بیلان آب در خاک، مدل رطوبتی خاک تهیه شد. به منظور ارزیابی کارایی مالچ‌ها در افزایش رطوبت خاک و نفوذ عمقی آب باران این مدل براساس داده‌های بارش و دمای یک سال منطقه مورد مطالعه اجرا گردید. نتایج نشان داد که میزان نفوذ عمقی در طی این دوره در کلیه مالچ‌های مورد بررسی نسبت به خاک بدون مالچ افزایش داشته و بیشترین این میزان در مالچ شنی معادل 17/1% شد. این مقدار نسبت به خاک بدون مالچ افزایش 21% را نشان داد. لذا مالچ پاشی اراضی کشاورزی می‌تواند موجب افزایش تغذیه آبخوان ناشی از افزایش نفوذ عمقی آب باران به داخل خاک به عنوان یکی از منابع تأمین آب کشاورزی گردد. اما می‌بایست در هنگام انتخاب این نوع مالچ ضمن درنظر گرفتن اثرات مثبت آن در حفظ رطوبت خاک، مسائل اجرایی آن نیز در سطح وسیع در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: مالچ، آب زیرزمینی،تغذیه آبخوان،آب کشاورزی، رطوبت خاک

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت کد پستی: 3391653755

مقدمه

یکی از مهمترین منابع تأمین آب کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک، آبهای زیرزمینی است. از طرفی نقش بارش باران از طریق نفوذ به داخل زمین بر بیلان آب زیرزمینی بسیار حائز اهمیت بوده و به صورت مستقیم بر منابع آبی سطحی و زیرزمینی تأثیرگذار است. با توجه به اینکه رواناب‌های سطحی و بارش عامل اصلی تغذیه آب‌های زیرزمینی است (جایرکاما و سایکس، 2007)، بررسی راهکارهای ممکن جهت کاهش تلفات و افزایش میزان نفوذ باران به آبخوان حتی در مقادیر کم می‌تواند اثرات مطلوبی بر حفظ و نگهداری منابع آب زیرزمینی کشور داشته باشد. میزان زیاد تبخیر یکی از عواملی است که در مناطق خشک و نیمه خشک جهان همواره باعث اتلاف و هدررفت آب بوده و میتواند باعث افت تراز سطح آب در این مناطق گردد (پیری و همکاران، 2009). بنابراین کنترل میزان تبخیر و تعرق در این مناطق بسیار حائز اهمیت است (سهیلی فر، 1392). یکی از راهکارهای شناخته شده برای کاهش میزان تبخیر از سطح خاک در اراضی کشاورزی، استفاده از مالچ[1] می‌باشد. مالچ‌ها موادی هستند که با ایجاد پوشش بر روی خاک باعث کاهش تلفات تبخیر از آن می‌گردند (یاقی و همکاران، 2013).

تاکنون تأثیر مثبت مالچ‌ها در کشاورزی در کاهش میزان تبخیر از سطح خاک و افزایش عملکرد بر روی گیاهان مختلفی نظیر گندم (ورما و آچاریا، 2004؛ لی و همکاران، 2005)، ذرت (ژانگ و همکاران، 2005)، سبزیجات (اراکی و اتیو، 2002؛ اینکالکاترا و همکاران، 2003) و سایر محصولات زراعی (کومار و همکاران، 2003؛ کار و سینگ، 2004) و همچنین خاک بدون کشت (افتخار و علی، 2004؛ جیوردانی و همکاران، 2002) در تحقیقات مختلف مشاهده شده است. در این تحقیقات سعی بر آن بوده تا با توجه به عملکرد مثبت مالچ‌ها در کاهش تبخیر و در نتیجه نگهداشت آب بیشتر در خاک ضمن بررسی تأثیر مالچ‌های مختلف بر عملکرد گیاه مورد کشت، کارایی آنها در کاهش میزان مصرف آب آبیاری مورد بررسی قرار گیرد. به همین دلیل کمتر به تأثیر مثبت این مالچ‌ها در نگهداشت آب باران درخاک از طریق کاهش تبخیر و افزایش میزان نفوذ پذیری آن به خاک و در نتیجه تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی در دشت های در حال کشاورزی پرداخته شده است.

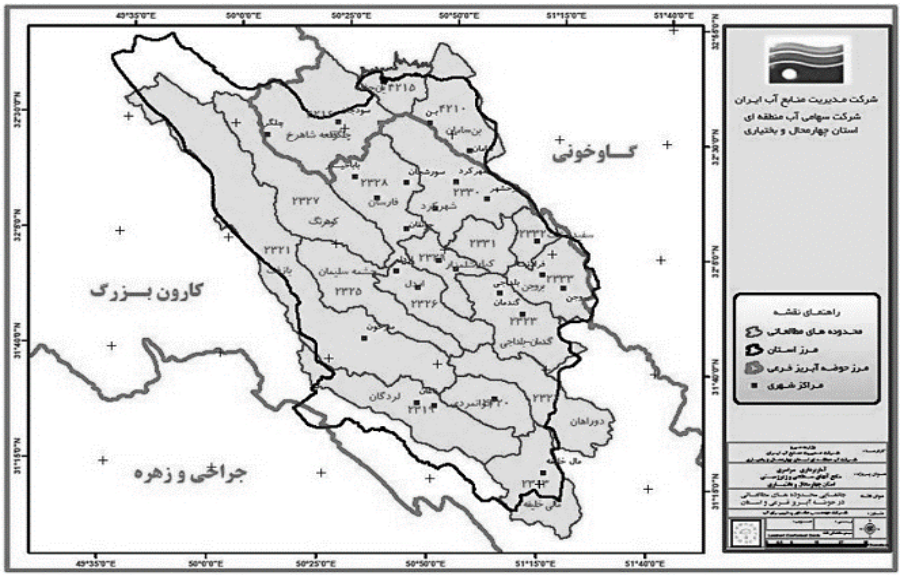
تغذیه مستقیم آب‌های زیرزمینی از باران ناشی از نفوذ آن در داخل خاک و در عمقی بیش از عمق ناحیه ریشه است که به آن نفوذ عمیق[2] گویند (اور و همکاران، 2002). با در نظر گرفتن این که عمق ریشه بعضی از گیاهان حتی به یک متر نیز می‌رسد اندازه‌گیری میزان نفوذ در فلوم‌ها که در برخی تحقیقات پیشین نیز مورد بررسی قرار گرفته و عمقی کمتر از یک متر دارد (هانگ و همکاران، 2013)، نمی‌تواند مبنای خوبی برای اندازه‌گیری میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی ناشی از نفوذ باران باشد. با در نظر گرفتن موارد گفته شده می‌توان دریافت هرچند تاکنون تأثیر مالچ‌ها در حفظ رطوبت خاک و افزایش عملکرد گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاکی از تأثیر مثبت این مالچ‌ها در حفظ رطوبت خاک است (لی و همکاران، 2009؛ لی و همکاران، 2012؛ چاکرابورتی و همکاران، 2010؛ ژو و همکاران، 2011)، ولی به تأثیر مالچ‌ها در افزایش میزان نفوذ عمقی باران در داخل خاک پرداخته نشده است. حال آنکه با مشخص نمودن افزایش کمی نفوذ عمقی بارش توسط مالچ پاشی، می‌توان تأثیر آن را بر افزایش میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی مشخص نمود که این مساله با توجه به کمبود میزان تغذیه آبخوان‌ها در مناطق خشک می‌تواند حائز اهمیت باشد. در این پژوهش سعی شد تا کارایی مالچ‌ها ماسه‌ای و شنی در افزایش میزان نفوذ آب باران مورد آزمایش قرار گرفته و به کمک روابط تجربی پیشنهادی این پژوهش، میزان تاثیر مالچ‌ها در طی یک سال بر افزایش نفوذ عمقی ماهانه آب باران و حفظ رطوبت آن در خاک در دشت شهرکرد مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی شهرکرد در شرق استان چهارمحال و بختیاری و در حد فاصل عرض جغرافیایی 32 درجه و 5 دقیقه تا 32 درجه و 34 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 50 درجه و 33 دقیقه تا 51 درجه و 10 دقیقه شرقی واقع شده است. این محدوده با محدوده‌های مطالعاتی سفیددشت، کیار و شلمزار در جنوب، محدوده فارسان در قسمت غرب و محدوده‌های بن سامان، یان چشمه و چلگرد در شمال و شمال غرب خود مجاور است. شکل 1 موقعیت محدوده مطالعاتی شهرکرد را در سطح استان نشان می‌دهد. در این تحقیق به منظور شبیه سازی بارش و انجام آزمایش‌های مربوطه از داده‌های بارش ایستگاه هیدرومتری شهرکرد واقع در نزدیکی مرکز این حوزه استفاده شد.

1. Mulch

2. Deep Percolation



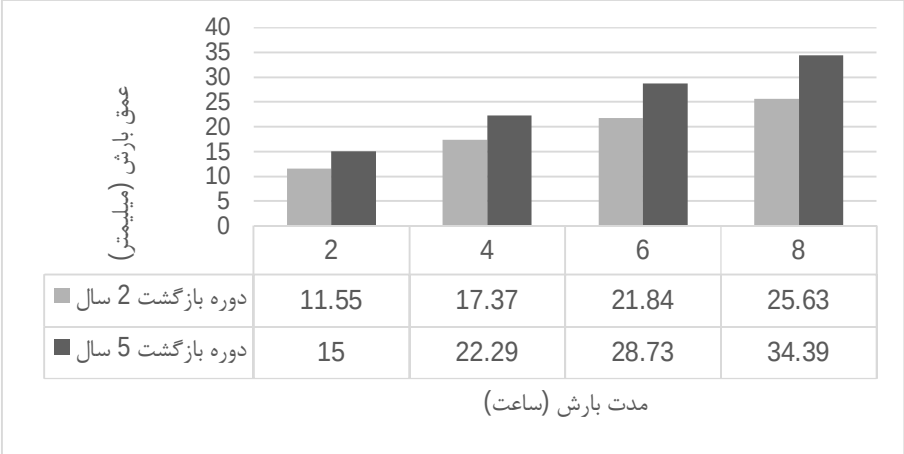
شکل 1- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی شهرکرد در حوزه آبریز فرعی و استان

انتخاب مالچ

با توجه به این که هدف از این پژوهش بررسی کارایی مالچ‌ها در افزایش میزان نفوذپذیری عمقی آب باران است، مالچ انتخابی ضمن عملکرد مثبت در کاهش تبخیر آب از خاک، نباید مانعی برای نفوذ آب در خاک بوده تا بتواند بر نفوذپذیری عمقی آب باران به داخل زمین نیز تأثیر مثبت داشته باشد. همچنین مالچ انتخابی باید علاوه بر ارزان قیمت و در دسترس بودن، کارایی تثبیت و جلوگیری از فرسایش خاک را داشته باشد تا با داشتن دو عامل قیمت مناسب و قابلیت استفاده در منابع طبیعی جهت تثبیت خاک عملا استفاده از آن توجیه اقتصادی لازم را داشته باشد. بنابراین تنها مالچ مناسب برای این منظور مالچ‌های شنی و ماسه‌ای بوده که ضمن قیمت مناسب و در دسترس بودن و قابلیت نفوذ می‌تواند برای اهداف تثبیت خاک و کاهش فرسایش آن مورد استفاده قرار گرفته و سازگار با محیط زیست است. در این پژوهش سه ترکیب مختلف شن و ماسه شامل 1- صد در صد شن، 2- صد در صد ماسه و 3- مخلوط شن و ماسه به نسبت مساوی به عنوان مالچ مورد استفاده قرار گرفت. و بر اساس نتایج تحقیقات قبلی، قطر دانه‌های ماسه بین 0/07 تا 4 میلی‌متر و دانه‌های شن بین 4 تا 20 میلی‌متر و ضخامت لایه مالچ معادل 7 سانتی‌متر انتخاب شد (ژی و همکاران، 2006؛ ونگ و همکاران، 2014).

مدل فیزیکی و آزمایش‌ها

به منظور ارزیابی کارایی مالچ در افزایش میزان نفوذ عمقی آب باران به داخل خاک از لایسیمترهای حجمی دایره‌ای شکل لبه دار به عمق یک متر و چهل سانتی‌متر و قطر چهل سانتی‌متر استفاده شد. استفاده از این لایسیمترها امکان اندازه‌گیری نفوذ عمقی آب را به جهت عمق زیاد آن فراهم می‌کند. در انتهای هر لایسیمتر نیز ظروفی به منظور جمع آوری مقادیر آب زه‌کش شده در طول مدت آزمایش تعبیه شد که به صورت روزانه آب موجود در آن-ها تخلیه و مقدار دقیق آن به کمک استوانه مدرج اندازه-گیری می‌شد. همچنین به منظور مشابه سازی هرچه دقیق-تر شرایط پژوهش با وضعیت منطقه، بافت خاک درون لایسیمترها براساس متوسطی از لوگ‌های حفاری منطقه مورد مطالعه و شدت بارش‌های ایجاد شده نیز براساس منحنی‌های شدت مدت فراوانی منطقه (بی نام، 1374) مورد مطالعه انتخاب گردید. 4 مدت زمان مختلف بارش 2، 4، 6 و 8 ساعت مورد آزمایش قرار گرفت. شدت بارش متناسب با این مدت زمان‌ها نیز بر اساس منحنی‌های شدت مدت فراوانی بارش منطقه مورد مطالعه برای دو دوره بازگشت 2 و 5 سال که بالاترین احتمال وقوع را دارد استخراج شده و توسط یک دستگاه باران ساز به صورت مصنوعی در هر آزمایش ایجاد شد. برای هریک از 3 مالچ مورد آزمایش و یک نمونه شاهد بدون مالچ در مجموع 8 ترکیب مختلف شدت و مدت بارش مورد آزمایش قرار گرفت که مقادیر عمق بارش ایجاد شده متناظر با هریک از بارش‌ها در شکل 2 نمایش داده شده است.



شکل 2- عمق بارش‌های ایجادشده متناظر با هر مدت و دوره بازگشت مورد آزمایش برحسب میلی‌متر

به منظور اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک در طول آزمایش تعداد پنج بلوک گچی در هر لایسیمتر در عمق های 30، 60، 90، 110 و 125 سانتی متری نسبت به کف لایسیمتر نصب و داده‌های رطوبتی خاک در طول آزمایش به کمک این بلوک‌های گچی اندازه‌گیری و ثبت شد. بررسی میزان اثر گذاری استفاده از مالچ‌ها بر افزایش میزان نفوذ عمقی آب باران نیز توسط اندازه گیری میزان آب خروجی از انتهای لایسیمترهای با پوشش مالچ و مقایسه آن با لایسمتر بدون مالچ انجام گرفت. در این آزمایش‌ها تعداد 192 داده برای پارامترهای رطوبت خاک، دمای هوا و نفوذ عمقی باران برداشت گردید.

مدل ریاضی ارزیابی نفوذ و تبخیر

بررسی میزان اثر گذاری استفاده از مالچ‌ها بر تغذیه آب زیرزمینی از طریق کاهش تبخیر توسط اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و میزان آب اضافی خروجی از انتهای لایسیمترها انجام شده و این برآورد بر اساس رابطه شماره 1 که نشان دهنده بیلان آب خاک بوده، انجام گرفت (آباکر و همکاران، 2017).

$$E = P - O + \Delta S \quad (1)$$

در رابطه فوق E میزان تبخیر، P میزان بارش، O میزان تخلیه آب از خاک (نفوذ عمقی) و ΔS تغییرات رطوبتی خاک همگی بر حسب میلی‌متر است. بنابراین با اندازه-گیری مقدار O و ΔS در رابطه فوق در طول مدت آزمایش و با توجه به مشخص بودن مقدار بارش P که به صورت مصنوعی ایجاد می‌گردد، می‌توان مقدار پارامتر E را به ازای هر بار اندازه‌گیری بدست آورد. بر این اساس در این پژوهش سعی شد تا با اندازه‌گیری پارامترهای مذکور علاوه بر تعیین بهترین نوع مالچ به منظور کاهش میزان تبخیر و افزایش میزان نفوذپذیری خاک، به کمک داده های بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی اقدام به استخراج رابطه‌ی تجربی برای برآورد میزان نفوذ عمقی باران و میزان تبخیر از بارش در خاک با پوشش مالچ و بدون مالچ نمود. بر این اساس میزان نفوذ عمقی در هر بارش تابعی از عمق آن بارش و رطوبت خاک طبق رابطه 2 و میزان تبخیر تابعی از میزان دمای هوا و رطوبت خاک طبق رابطه‌ی تجربی 3 در نظر گرفته شد. بر این اساس به منظور یافتن بهترین معادله که بیان‌گر رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل در هریک از روابط 2 و 3 باشد از نرم افزار CurveExpert Professional 2.6.3 شد. این نرم افزار قابلیت برازش معادلات مختلف بر داده‌های مشاهداتی را برای دو متغیر مستقل دارا است:

$$O = f(s, p) \quad (2)$$

$$E = f(s, T) \quad (3)$$

به منظور ارزیابی کارآیی روابط بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی از معیار ضریب تبیین و معیار نش-ساتکلیف طبق روابط 4 استفاده شد.

(4)

$$\left[\frac{(m\sum_{t=1}^{m}(X_{t,obs}-\overline{X_{obs}}).(X_{t,sim}-\overline{X_{sim}}))^2}{\sqrt{\sum_{t=1}^{m}(X_{t,obs}-\overline{X_{obs}})^2}\sqrt{\sum_{t=1}^{m}(X_{t,sim}-X_{sim})^2}}\right]^2=1-\frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{m}(X_{t,obs}-X_{t,sim})^2}}{\sum_{t=1}^{m}(X_{t,obs}-\overline{X_{obs}})^2}$$

در روابط فوق $X_{t,obs}$ و $X_{t,sim}$ به ترتیب مقادیر مشاهداتی و محاسباتی پارامتر مورد بررسی در زمان t و $\overline{X_{obs}}$و$\overline{X_{obs}}$ به ترتیب مقادیر متوسط مشاهداتی و محاسباتی برای پارامتر مورد بررسی و m تعداد داده‌های برداشت شده می‌باشد(سینگ، 1988).

نتایج و بحث

بر اساس داده‌های بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی و رابطه شماره 2 در مرحله اول رابطه‌ای جهت برآورد میزان تغذیه آبخوان در هر بارش بر اساس مقادیر پارامترهای رطوبت خاک و میزان بارش در هریک از مالچ‌های به کار رفته برای خاک وخاک بدون مالچ استخراج و در رابطه شماره 5 نمایش داده شد. ضرایب این رابطه برای هریک از پوشش‌های مذکور در جدول 1 ارائه شده است:

(5)

$$O=\frac{p.s}{a+bp+as}$$

در رابطه‌ی تجربی فوق O میزان تخلیه آب از خاک (تغذیه آب زیرزمینی)، P میزان بارش و S رطوبت خاک همگی بر حسب میلی‌متر است.

جدول 1- ضرایب برازش یافته مربوط به رابطه نفوذ و مقادیر ضریب تبیین (R^2) و معیار نش-ساتکلیف (E) مربوطه برای تیمارهای بدون مالچ، مالچ شن، مالچ ماسه و مالچ مخلوط شن و ماسه

نوع مالچ	ضرایب رابطه			معیارارزیابی	
	a	*b*	*c*	R^2	E**
بدون مالچ	4/58 (2)*	-1/65 (1)	3/31 (0)	0/97	0/96
مالچ شن	5/32 (2)	-2/22 (1)	2/90 (0)	0/98	0/98
مالچ ماسه	4/97 (2)	-2/24 (1)	3/70 (0)	0/98	0/97
مالچ مخلوط شن و ماسه	5/42 (2)	-2/32 (1)	3/10 (0)	0/98	0/97

*اعداد داخل پرانتز نشان دهنده توان ضریب 10 در نمایش اعداد به صورت نماد علمی می باشد. به طور مثال: $10^2 \times 4/58 = 4/58$ (2) 4/58. **R^2 مقدار ضریب تبیین و E مقدار معیار نش-ساتکلیف است.

بدین ترتیب به کمک رابطه 5 و ضرایب جدول 1 امکان برآورد میزان نفوذ عمقی آب باران ناشی از بارش-های مختلف در هریک از پوشش‌های مذکور و خاک لخت در شرایط مشابه بافت خاک فراهم می‌گردد. در شرایط متفاوت نیز امکان واسنجی رابطه 5 و استخراج ضرایب مربوطه به طریق مشابه وجود خواهد داشت. در گام بعد کارایی روابط استخراج شده و میزان دقت آن‌ها، به کمک محاسبه ضریب تبیین و معیار نش-ساتکلیف به ترتیب طبق رابطه شماره 4 مورد ارزیابی قرار گرفت و در جدول 1 نمایش داده شد.

با توجه به جدول 1 مقادیر ضریب تبیین در تمامی پوشش‌های به کار رفته و خاک بدون پوشش مقادیری بین 0/97 تا 0/98 است. که نشان دهنده برازش خوب منحنی رابطه 5 بر داده‌های مشاهداتی است. در این بین بالاترین ضریب تبیین مربوط به مالچ مخلوط شن و ماسه و کمترین آن مربوط به خاک بدون مالچ است. مقادیر محاسبه شده معیار نش- ساتکلیف نیز نشان دهنده میزان بالای کارایی رابطه‌ی تجربی استخراج شده (رابطه 5) در برآورد صحیح مقادیر تخلیه آب از خاک و در نتیجه تغذیه آبخوان بود. هرچه قدر این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده کارایی بیشتر مدل و برآورد دقیق‌تر پارامتر مورد مطالعه (O) است (سینگ، 1988). با توجه به جدول 1 بالاترین کارایی مربوط به مالچ مخلوط شن و کم‌ترین آن مربوط به خاک بدون مالچ بود. با توجه به موارد گفته

شده و جدول1 به نظر می‌رسد که در هر سه خاک با پوشش و همچنین خاک بدون پوشش رابطه 5 توانسته برآورد مناسبی با دقت قابل قبول برای میزان نفوذ آب باران در خاک بر اساس مقادیر رطوبت خاک و مقدار بارش، داشته باشد. بنابراین می‌توان از این رابطه به منظور برآورد مقدار نفوذ عمقی آب باران در شرایط مشابه و در باران های مختلف بهره برد.

در مرحله بعد مقادیر تبخیر از هریک از لایسیمترها در هر سری از داده برداری بر طبق رابطه شماره 1 محاسبه و بر اساس رابطه شماره 3 رابطه دیگری برای محاسبه میزان تبخیر از خاک در هریک از پوشش های به کار رفته و خاک بدون پوشش براساس مقادیر دمای حداکثر هوا و میزان رطوبت خاک استخراج گردید که نتیجه طبق رابطه شماره 6 نمایش داده شد. ضرایب این رابطه برای هریک از پوشش های مذکور طبق جدول2 است:

$$E = a.S^{b}.T^{c} \quad (6)$$

$$S,T>0$$

در رابطه‌ی تجربی فوق E میزان تبخیر بر حسب میلی-متر، T میزان دمای حداکثر هوا بر حسب درجه سلسیوس و S رطوبت خاک بر حسب میلی‌متر می‌باشد. با توجه به اینکه در تمامی آزمایش های صورت گرفته، خاک مورد آزمایش دارای رطوبت بوده و همچنین دمای هوا بالای صفر درجه سلسیوس بوده است، لذا در رابطه فوق نیز شروط مذکور در نظر گرفته شده است.

جدول 2- ضرایب مربوط به رابطه تبخیر و مقادیر ضریب تبیین و معیار نش-ساتکلیف مربوطه برای تیمارهای بدون مالچ، مالچ شن، مالچ ماسه و مالچ مخلوط شن و ماسه

نوع مالچ	ضرایب رابطه			معیار ارزیابی	
	a	*b*	*c*	R^2	E**
بدون مالچ	8/57 (-4)	1/92 (-1)	2/08 (0)	0/92	0/91
مالچ شن	2/92 (-4)	1/00 (-1)	2/19 (0)	0/96	0/94
مالچ ماسه	4/62 (-4)	2/00 (-1)	2/20 (0)	0/95	0/93
مالچ مخلوط شن و ماسه	2/50 (-4)	1/53 (-1)	2/2 (0)	0/95	0/96

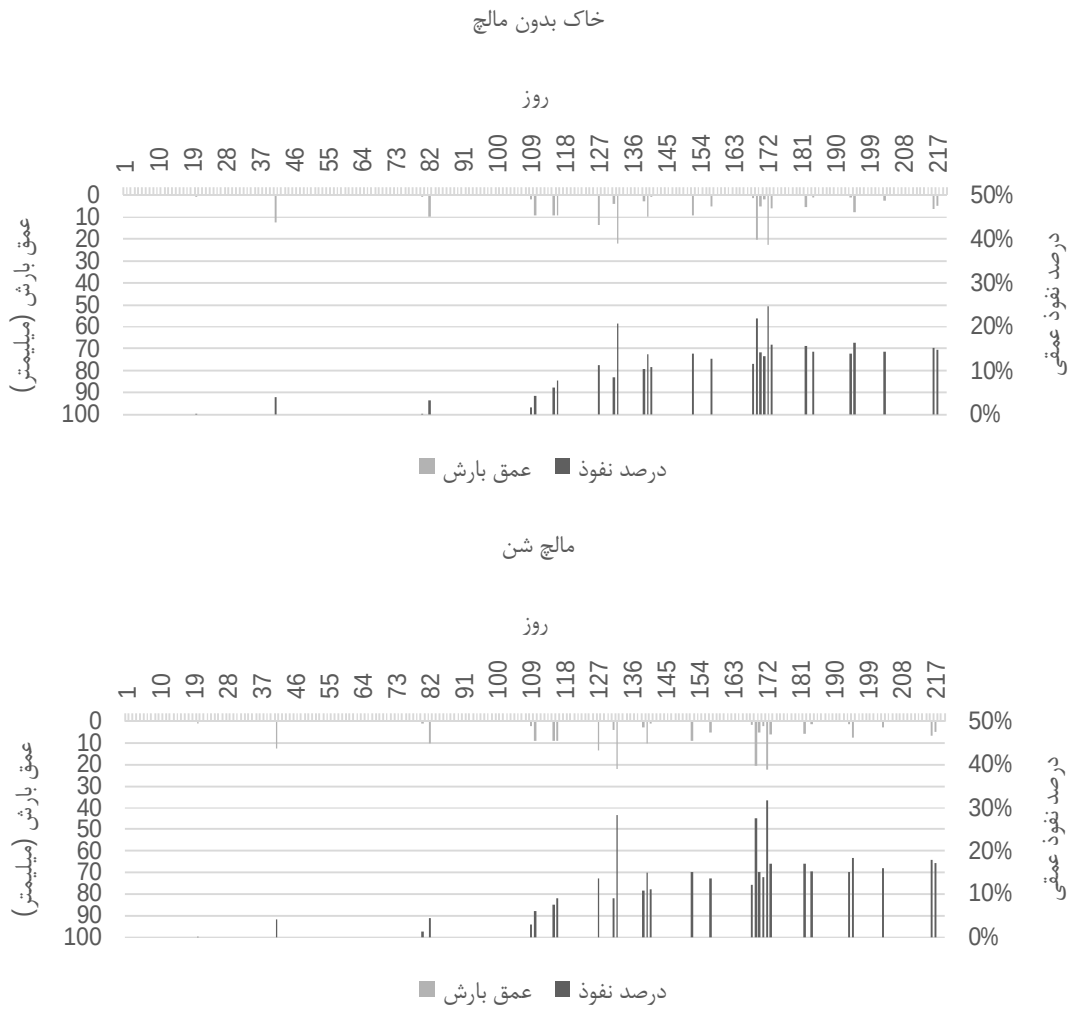
* اعداد داخل پرانتز نشان دهنده توان ضریب 10 در نمایش اعداد به صورت نماد علمی می باشد. به طور مثال: $4/62 (-4) = 4/62 \times 10^{-4}$ R^{2}** مقدار ضریب تبیین و E مقدار معیار نش-ساتکلیف است.

بدین ترتیب به کمک رابطه‌ی تجربی 6 و ضرایب جدول 2 امکان برآورد میزان تبخیر در هریک از پوشش-های مذکور و خاک بدون پوشش بر اساس میزان دمای حداکثر هوا و رطوبت خاک وجود خواهد داشت. در گام بعد کارایی روابط استخراج شده برای محاسبه تبخیر نیز طبق رابطه شماره 4 مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه در جدول 2 نمایش داده شده است. همان طور که در جدول 2 مشخص است مقادیر ضریب تبیین در تمامی پوشش-های به کار رفته و خاک بدون پوشش مقادیری بین 0/92 تا 0/96 شد که نشان دهنده برازش خوب منحنی رابطه 6 بر داده‌های مشاهداتی است. بالاترین ضریب تبیین مربوط به مالچ شن و کمترین آن مربوط به خاک بدون مالچ بود. مقادیر محاسبه شده معیار نش- ساتکلیف نیز نشان دهنده میزان بالای کارایی رابطه استخراج شده (رابطه 6) در برآورد صحیح مقادیر تبخیر بود. با توجه به جدول 2 بالاترین کارایی مربوط به مالچ مخلوط شن و ماسه با مقدار 0/96 و کمترین آن مربوط به خاک بدون مالچ با مقدار 0/91 بود. لذا با توجه به مقادیر جدول 2 می‌توان نتیجه گرفت رابطه شماره 6 در هر سه خاک با مالچ و همچنین خاک بدون مالچ توانسته برآورد مناسبی با دقت قابل قبول برای میزان تبخیر بر اساس مقادیر رطوبت خاک و دمای حداکثری هوا داشته باشد.

در مرحله بعد داده‌های دما و بارش روزانه منطقه مورد مطالعه برای یک سال (1389) استخراج و به کمک حل دستگاه معادلات حاصل از روابط شماره 1، 5 و6، مقدار تبخیر و نفوذ عمقی آب باران برای داده‌های مذکور به صورت روزانه محاسبه شد. مقدار رطوبت خاک در نقطه شروع محاسبات یعنی روز اول مهرماه مقدار صفر در نظر گرفته شد و مقادیر تبخیر از خاک و نفوذ عمقی بارش براساس مقادیر دما و بارش روزانه منطقه مورد مطالعه و به کمک روابط 5 و 6 در هر روز محاسبه شده و سپس بر این اساس و به کمک رابطه 1 مقدار رطوبت خاک نیز در روز بعد بدست آورده شد. مقادیر رطوبت خاک، نفوذ عمقی آب باران و تبخیر در هر روز طی یک سال برای هریک از مالچ‌های مورد آزمایش و

خاک بدون مالچ بر اساس روابط بدست آمده در این تحقیق محاسبه گردید.

در شکل 3 مقادیر عمق و درصد نفوذ عمقی روزانه بارش از تاریخ89/7/1 تا تاریخ90/2/10 در خاک بدون مالچ و مالچ شنی که بهترین کارایی را در افزایش نفوذ روزانه عمقی در این تحقیق داشته نمایش داده شده است. در این شکل روزهای بدون بارش حدفاصل 10 اردیبهشت 90 تا 31 شهریورماه 90 نمایش داده نشده است.

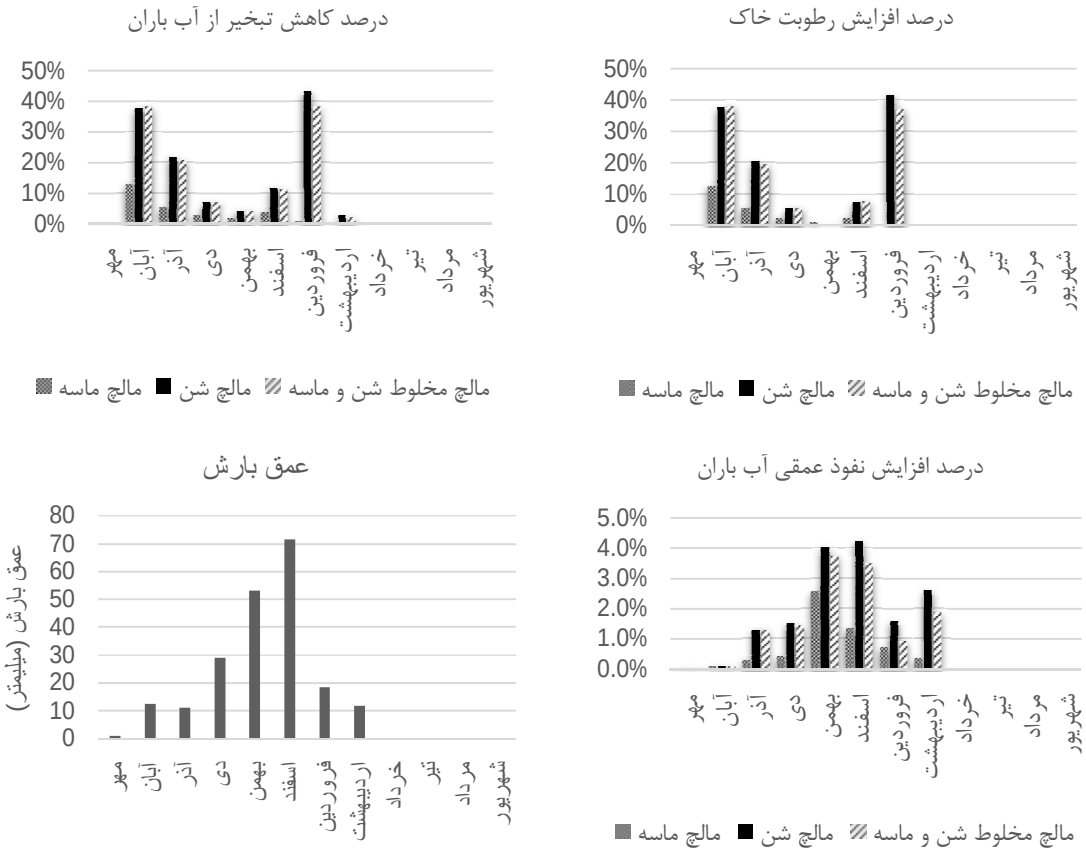


شکل 3- مقادیر عمق و درصد نفوذ عمقی بارش در مالچ شنی و خاک بدون مالچ (روز1 اول مهر 89 می‌باشد)

در نمودارهای شکل 3 در محور افقی روزهای مختلف در دوره بارانی طی یک سال مدل سازی شده در تحقیق نمایش داده شده است. در بخش بالایی نمودار عمق بارش طی این روزها و در بخش پایینی نمودار درصد نفوذ عمقی هر بارش نشان داده شده که عمق هر بارش از محور عمودی سمت چپ و درصد نفوذ عمقی متناظر با آن از محور عمودی سمت راست قابل مشاهده است. با توجه به شکل 3 می‌توان دریافت بارش‌هایی که در ابتدای دوره رخ داده دارای فواصل زمانی وقوع بالاتری نسبت به بارش‌های میانی دوره (از روز صدم به بعد) بود. در عین حال در هر دو خاک با پوشش مالچ شنی و بدون مالچ، درصد نفوذ عمقی باران نیز در بارش-های میانی دوره نسبت به بارش‌های ابتدایی دوره بالاتر بوده به طوری که بارش‌هایی با عمق کمتر از 10 میلی‌متر در ابتدای دوره درصد نفوذی کمتر از 5 درصد داشته ولی با نزدیک شدن به میانه دوره این میزان برای بارش‌های مذکور به بیش از 10 درصد ارتقا پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که درصد نفوذ عمقی آب باران در بارش‌هایی که فواصل زمانی

کم‌تری بین وقوع آن‌ها بوده نسبت به بارش‌های مشابه با فواصل زمانی وقوع بالاتر، بیش‌تر بود.

در شکل4 درصد افزایش رطوبت خاک، کاهش تبخیر و افزایش نفوذ عمقی آب باران در مالچ‌های مورد بررسی در این پژوهش در مقایسه با خاک بدون مالچ به صورت ماهانه در کنار عمق بارش بصورت ماهانه ارائه شده است.



شکل 4- درصد افزایش رطوبت خاک، کاهش تبخیر و افزایش نفوذ عمقی آب باران در مالچ‌های مخلوط شن و ماسه، شن، و ماسه در مقایسه با خاک بدون مالچ در کنار عمق بارش ماهانه

همان طور که در شکل 4 مشخص است مجموع عمق بارش‌ها در مهرماه در حد یک میلیمتر و بسیار کمتر از سایر ماه‌هایی بوده که در آن‌ها بارش ثبت شده است. لذا به دلیل ناچیز بودن مقدار بارش تغییر محسوسی در افزایش رطوبت خاک، کاهش تبخیر و یا افزایش نفوذ آب باران در خاک در صورت استفاده از مالچ در قیاس با خاک بدون مالچ مشاهده نشد. در آبان ماه با افزایش عمق بارش و با توجه به پایین بودن میزان رطوبت در خاک، درصد قابل توجهی از آب باران در خاک ذخیره شده و همانطور که در نمودارها مشخص است مالچ شن و مالچ مخلوط شن و ماسه توانسته در این ماه میزان ذخیره رطوبتی آب باران در خاک را تا 40 درصد و مالچ ماسه تا 10 درصد در مقایسه با خاک بدون مالچ افزایش دهد. میزان تبخیر نیز در این ماه توسط دو مالچ شن و مخلوط شن وماسه تا بیش از 30 درصد در مقایسه با خاک بدون مالچ کاهش نشان می‌دهد. می‌توان گفت در این ماه استفاده از مالچ توانسته موجب حفظ آب باران در خاک و کاهش میزان تلفات تبخیر از آن در مقایسه با خاک بدون مالچ گردد.

در آذرماه هر چند مجموع عمق بارش نسبت به ماه قبل کاهش داشته ولی در عین حال میزان نفوذ عمقی آب باران در هر سه مالچ مورد استفاده نسبت به ماه قبل افزایش یافته است که این امر می‌تواند به دلیل حفظ رطوبت در خاک توسط مالچ‌های مورد استفاده در ماه قبل و در نتیجه بهبود میزان نفوذ عمقی آب باران در این ماه باشد. با توجه به شکل 4 این میزان افزایش در بهترین

حالت در مالچ شنی نزدیک به 1/5 درصد در مقایسه با خاک بدون مالچ بوده است. در ادامه با افزایش عمق بارش در ماه‌های دی، بهمن و اسفند نفوذ عمقی آب باران نیز در هر سه مالچ اضافه شده که این میزان افزایش تا بیش از 4 درصد در ماه اسفند و برای مالچ شنی در مقایسه با خاک بدون مالچ بود. در این ماه‌ها همان طور که مشخص است بیشترین تأثیر مالچ‌ها در افزایش نفوذ عمقی آب باران بوده و مالچ شنی تنها در بهترین حالت توانسته بیش از 5 درصد باعث افزایش رطوبت خاک و بیش از 10 درصد در کاهش میزان تبخیر در مقایسه با خاک بدون مالچ مؤثر باشد. این مساله نشان می‌دهد در ماه‌های سرد سال که میزان تبخیر کاهش و عمق بارش‌ها افزایش می‌یابد میزان افزایش عمقی آب باران نیز در صورت استفاده از مالچ در مقایسه با خاک بدون مالچ افزایش یافته که می‌تواند ناشی از افزایش ذخیره رطوبتی خاک در خاک با پوشش مالچ در مقایسه یا خاک بدون پوشش ناشی از بارش‌های با عمق کمتر و فواصل زمانی بالاتر بوده که در ماه‌های قبلی و گرم‌تر سال به وقوع پیوسته است. چرا که همانطور که قبلا اشاره شد در این ماه‌ها میزان تبخیر از خاک با پوشش مالچ در مقایسه با خاک بدون مالچ کاهش داشته که این مساله موجب افزایش رطوبت خاک در این ماه‌ها در خاک با پوشش مالچ در مقایسه با خاک بدون مالچ شده که در نهایت سبب افزایش نفوذ عمقی آب باران در خاک با پوشش مالچ که رطوبت بالاتری داشته در ماه‌های دی، بهمن و اسفند شده است.

در ماه فروردین با افزایش دمای هوا مجدداً شاهد افزایش میزان ذخیره رطوبتی خاک ناشی از بارش تا بیش از 40 درصد و کاهش میزان تلفات تبخیر آن تا همین میزان در مقایسه با خاک بدون مالچ هستیم. که این میزان افزایش رطوبت خاک در ماه بعد (اردیبهشت) موجب شده تا در حالی که عمق بارش در این ماه نسبت به ماه فروردین کاهش داشته است ولی میزان نفوذ عمقی آب باران نسبت به خاک بدون مالچ افزایش یابد که این میزان افزایش در بهترین حالت تا بیش از 2/5 درصد در مالچ شنی در مقایسه با خاک بدون مالچ بود. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت استفاده از مالچ موجب افزایش رطوبت خاک ناشی از بارش، کاهش تبخیر و افزایش نفوذ عمقی آب باران در خاک می‌گردد که مقدار آن بسته به عمق بارش‌ها، زمان وقوع آن‌ها و دمای هوا می‌تواند متفاوت باشد.

بر اساس نتایج مدل سازی صورت گرفته در جدول 3 مقدار و درصد نفوذ عمقی آب باران، رطوبت خاک در انتهای دوره و تلفات تبخیر از بارش را از مجموع 208/3 میلی‌متر بارش، در طی یک سال مورد بررسی در این پژوهش در هر سه مالچ شن، ماسه و مخلوط شن و ماسه و همچنین خاک بدون مالچ نمایش داده شده است.

جدول 3- مقدار و درصد نفوذ عمقی آب باران، رطوبت خاک و تلفات تبخیر از بارش در طی یک سال

نوع مالچ	میزان نفوذ بارش (میلیمتر)	درصد نفوذ بارش	میزان تلفات تبخیر (میلی‌متر)	درصد تلفات تبخیر	میزان افزایش رطوبت خاک (میلی‌متر)	درصد افزایش رطوبت خاک
بدون مالچ	29/3	14/1	179	85/9	0	0
شن	35/65	17/1	143/70	69	28/95	13/9
ماسه	31/65	15/2	176/65	84/8	0	0
مخلوط شن و ماسه	34/77	16/7	154/43	74/1	19/1	9/2

با توجه به جدول 3 بیشترین میزان نفوذ عمقی باران مربوط به مالچ شن با 35/65 میلی‌متر و کمترین آن مربوط به خاک بدون مالچ با 29/3 میلی‌متر می‌باشد. میزان نفوذ عمقی در طی یک سال در کلیه مالچ‌های مورد بررسی نسبت به خاک بدون مالچ افزایش داشته که بیشترین میزان افزایش درصد نفوذ عمقی آب باران در مالچ شنی بوده که معادل 17/1 درصد شد که این مقدار نسبت به خاک بدون مالچ افزایش 21 درصدی را نشان می‌دهد. همچنین میزان تلفات تبخیر از آب باران در هر سه مالچ مورد بررسی نسبت به خاک بدون مالچ کاهش داشته که بیشترین آن به ترتیب در مالچ شنی و مالچ مخلوط شن وماسه بوده و به ترتیب 19/4 و 13/7 درصد کاهش میزان تلفات تبخیر نسب به خاک بدون مالچ داشته است. این کاهش میزان تلفات تبخیر در مالچ شنی و مالچ مخلوط شن و ماسه منجر به افزایش رطوبت خاک در انتهای دوره مورد بررسی شد به طوری که در مالچ شنی و مالچ مخلوط شن و ماسه ذخیره آب باران در خاک 13/9 و 9/2 درصد شد. هرچند مالچ ماسه توانسته میزان تلفات تبخیر را در مقایسه با خاک بدون مالچ کاهش دهد ولی در عین حال نتوانسته موجب حفظ رطوبت خاک در انتهای دوره مورد بررسی

شده و رطوبت خاک در مالچ ماسه همچون خاک بدون مالچ در انتهای دوره افزایش نیافته است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، بر اساس داده‌های بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی روابط تجربی جهت برآورد میزان نفوذ عمقی آب باران در هر بارش بر اساس مقادیر پارامترهای رطوبت خاک و میزان بارش و همچنین برآورد میزان تبخیر از خاک براساس مقادیر دمای هوا و میزان رطوبت خاک در هریک از مالچ‌های شن، ماسه و مخلوط شن و ماسه و خاک بدون پوشش به طور جداگانه استخراج گردید. همچنین کارایی و دقت این روابط تجربی به کمک ضریب تبیین و معیار نش- ساتکلیف مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی نشان داد که روابط استخراج شده در هر سه خاک با مالچ و همچنین خاک بدون مالچ توانسته برآورد مناسبی با دقت قابل قبول برای میزان تبخیر بر اساس مقادیر رطوبت خاک و دمای هوا و همچنین برای میزان نفوذ عمقی آب باران در هر بارش بر اساس مقادیر پارامترهای رطوبت خاک و میزان بارش داشته باشد. بر اساس این روابط و معادله بیلان آب در خاک مدل رطوبتی خاک تهیه و سپس به منظور ارزیابی کارایی مالچ‌های مورد بررسی در افزایش رطوبت خاک و نفوذ عمقی آب باران این مدل براساس داده‌های بارش و دمای یک سال منطقه مورد مطالعه اجرا گردید. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از مالچ موجب افزایش رطوبت خاک ناشی از بارش، کاهش تبخیر و افزایش نفوذ عمقی آب باران در خاک شد که مقدار آن بسته به عمق بارش‌ها، زمان وقوع آن‌ها و دمای هوا می‌تواند متفاوت باشد. میزان نفوذ عمقی در طی یک سال در کلیه مالچ‌های مورد بررسی نسبت به خاک بدون مالچ افزایش داشت که بیش‌ترین میزان درصد نفوذ عمقی آب باران در مالچ شنی که معادل 17/1 درصد بود. این مقدار نسبت به خاک بدون مالچ افزایش 21 درصدی را نشان می‌دهد. میزان تلفات تبخیر از آب باران در هر سه مالچ مورد بررسی نسبت به خاک بدون مالچ کاهش داشت و بیش‌ترین آن در مالچ شنی و مخلوط شن و ماسه بود که این کاهش میزان تبخیر توانسته در خاک با مالچ شنی و مخلوط شن وماسه به ترتیب موجب ذخیره 13/9 و 9/2 درصدی آب باران در خاک در انتهای دوره مورد بررسی شد. درصد نفوذ عمقی آب باران در بارش‌هایی که فواصل زمانی کم-تری بین وقوع آن‌ها بوده نسبت به بارش‌های مشابه با فواصل زمانی وقوع بالاتر، در هر سه مالچ مورد بررسی و خاک بدون پوشش بیش‌تر بود، بنابراین در صورت مالچ پاشی اراضی کشاورزی می‌توان با حفظ رطوبت خاک، علاوه بر تأثیر مثبت بر عملکرد گیاهان کشت شده موجب افزایش تغذیه آبخوان ناشی از افزایش نفوذ عمقی آب باران به داخل خاک به عنوان یکی از منابع تأمین آب کشاورزی گردید. باید توجه داشت که مالچ پاشی ماسه و شن در سطح وسیع از لحاظ اجرایی دارای مشکلاتی نظیر دشوار شدن عملیات کشاورزی در سطح مزرعه و بالا بودن هزینه مالچ پاشی می‌باشد (لی، 2003). لذا می‌بایست در هنگام انتخاب این نوع مالچ ضمن درنظر گرفتن اثرات مثبت آن در حفظ رطوبت خاک، مسائل اجرایی آن نیز در سطح وسیع در نظر گرفته شود.

فهرست منابع:

1. بی نام. 1374. روابط شدت مدت فراوانی بارندگی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرکرد، مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی سازمان هواشناسی کشور.
2. سهیلی فر،ز.، میر لطیفی،م.، ناصری،ع.، عصاری،م. 1392. برآورد تبخیر-تعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده‌های سنجش از دور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان. نشریه دانش آب و خاک، جلد 23، شماره 1،صفحه 163-151.
3. Abaker, W.E., Berninger, F. and Starr, M. 2017. Changes in soil hydraulic properties, soil moisture and water balance in Acacia senegal plantations of varying age in Sudan. Journal of Arid Environments. 150: 42-53.
4. Araki, H. and Ito, M. 2002, August. Decrease of nitrogen fertilizer application in tomato production in no-tilled field with hairy vetch mulch. In XXVI International Horticultural Congress: Sustainability of Horticultural Systems in the 21st Century 638, Aug 2002.
5. Chakraborty, D., Garg, R.N., Tomar, R.K., Singh, R., Sharma, S.K., Singh, R.K., Trivedi, S.M., Mittal, R.B., Sharma, P.K. and Kamble, K.H. 2010. Synthetic and organic mulching and nitrogen effect on winter wheat (Triticum aestivum L.) in a semi-arid environment. Agricultural Water Management. 97(5):738-748.

6. Giordani, C., Cecchi, S. and Zanchi, C. 2002. Effectiveness of different amounts of organic mulch on the conservation of soil moisture. Journal of Agriculture and Environment for International Development (Italia). Jan. 96(1/2):3-11.
7. Huang, J., Wu, P. and Zhao, X. 2013. Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. Catena. 104:93-102.
8. Iftikhar, F. and Ali, S. 2004. Impact of different types of mulches [wheat straw, paper mulchand sand mulch] on soil moisture. Sarhad Journal of Agriculture. 20 (4):571 – 573.
9. Incalcaterra, G., Sciortino, A., Vetrano, F. and Iapichino, G. 2003. Agronomic response of winter melon (Cucumis melo inodorus Naud.) to biodegradable and polyethylene film mulches, and to different planting densities. Mediterranean rainfed agriculture: strategies for sustainability. CIHEAMIAMZ, Zaragoza (Spain).
10. Jyrkama, M.I. and Sykes, J.F. 2007. The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the Grand River watershed (Ontario). Journal of Hydrology, 338(3-4): 237-250.
11. Kar, G. and Singh, R. 2004. Soil water retention—transmission studies and enhancing water use efficiency of winter crops through soil surface modification. Indian Journal of Soil Conservation. 8:18-23.
12. Kumar, D., Singh, R., Gadekar, H. and Patnaik, U.S. 2003. Effect of different mulches on moisture conservation and productivity of rainfed turmeric. Indian Journal of Soil Conservation (India). 31(1):41 – 44.
13. Li, F.M., Wang, J. and Xu, J.Z. 2005. Plastic film mulch effect on spring wheat in a semiarid region. Journal of sustainable agriculture. 25(4):5-17.
14. LI, L.X., LIU, G.C., YANG, Q.F., ZHAO, X.W. and ZHU, Y.Y. 2009. Research and application development for the techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows in dry land [J]. Agricultural Research in the Arid Areas. 1:024.
15. Li, R., Hou, X., Jia, Z., Han, Q. and Yang, B. 2012. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on soil water, temperature, and maize yield in Loess Plateau region of China. Soil Research. 50(2):105-113.
16. Li, X.Y. 2003. Gravel–sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. Catena, 52(2):105-127.
17. Orr, L.A., Bauer, H.H. and Wayenberg, J.A. 2002. Estimates of ground-water recharge from precipitation to glacial-deposit and bedrock aquifers on Lopez, San Juan, Orcas, and Shaw Islands, San Juan County, Washington.
18. Singh, V.P. 1988. Hydrologic systems: Rainfall-runoff modeling (No. 551.49 S5).
19. Verma, M.L. and Acharya, C.L. 2004. Effect of Nitrogen fertilization on Soil-Plant-Water Relationships under Different Soil Moisture Conservation Practices in Wheat. Journal of the Indian Society of Soil Science. 52(1):105-108.
20. Wang, Y., Xie, Z., Malhi, S.S., Vera, C.L. and Zhang, Y. 2014. Gravel-sand mulch thickness effects on soil temperature, evaporation, water use efficiency and yield of watermelon in semi-arid Loess Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 34(5):261-265.
21. Xie, Z., Wang, Y., Jiang, W. and Wei, X. 2006. Evaporation and evapotranspiration in a watermelon field mulched with gravel of different sizes in northwest China. Agricultural water management, 81(1-2):173-184.
22. Yaghi, T., Arslan, A. and Naoum, F. 2013. Cucumber (Cucumis sativus, L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation. Agricultural water management. 128:149-157.
23. Zhang, X.Y., Chen, S.Y., Pei, D., Liu, M.Y. and Sun, H.Y. 2005. Evapotranspiration, yield and crop coefficient of irrigated maize under straw mulch. PEDOSPHERE. 15(5):576-584.

24. Zhou, J.B., Wang, C.Y., Zhang, H., Dong, F., Zheng, X.F., Gale, W. and Li, S.X. 2011. Effect of water saving management practices and nitrogen fertilizer rate on crop yield and water use efficiency in a winter wheat–summer maize cropping system. Field Crops Research. 122(2):157-163.

A Model for Evaluation of Mulching Effectiveness on Increasing Rainwater Deep Percolation in Shahrkord Plain

M. E. Banihabib[1] and B. Vaziri

Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran; E-mail: banihabib@ut.ac.ir

PhD. Student, Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran; E-mail: b.vaziri@ut.ac.ir

Received: December, 2017 and Accepted: May, 2018

Abstract

One of the most important sources of agricultural water supply in arid areas is groundwater. Moreover, rain water percolation in the soil is the main source of groundwater recharge. Therefore, in this research, the efficiency of various mulches in increasing the percolation depth of rainwater was investigated in Shahrekord Plain. Eight precipitation events from the IDF curves of the study area with 2 and 5 years return periods were selected and the deep percolation of these rainfalls was tested in lysimeters with the same conditions and different mulches including gravel, sand, mixed sand and gravel, and the same soil texture without mulch. A total of 192 data were collected for soil moisture, air temperature and rain percolation. Furthermore, the equations for estimating the depth of rainwater percolation in each rainfall and the estimation of evaporation from soil under each mulch and soil without mulch were derived separately and the efficiency and accuracy of these equations were investigated using the Nash-Sutcliffe index and the coefficient of determination. The results showed that the derived relations had a coefficient of determination in the range of 0.98-0.99 and the Nash-Sutcliff index in the range of 0.98-0.96. Based on these equations and the water balance equation in soil, a soil moisture model was developed. Then, to evaluate the efficiency of mulches in increasing soil moisture and deep water percolation, this model was performed based on one year rainfall and temperature data of the study area. The results showed that the amount of percolation during this period in all studied mulches increased in comparison with the soil without mulch. The highest percolation amount was 17.1% in gravel mulch, which shows 21% increase compared to the non-mulched soil. Therefore, mulching of agricultural land can increase aquifer recharging due to increased percolation of rainwater into the soil as one of the sources for supplying agricultural water. However, considering the positive effects of mulching in saving soil moisture, its implementation issues should be considered broadly when selecting this type of mulch.

Keywords: Aquifer recharge, Mulch, Groundwater, Agricultural water, Soil moisture

[1]. Corresponding author: Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran,