

انتقال و تجزیهٔ علف‌کش‌ها در خاک در سیستم‌های مختلف سم- آبیاری

الهام نوشادی^۱، مهدی همایی^{۲*}، محمد محمودیان شوشتری^۳، فریبرز عباسی^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه خاک‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس ۲. استاد گروه خاک‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

۳. استاد گروه عمران دانشگاه شهید چمران اهواز

۴. استاد مؤسسه تحقیقات مهندسی کشاورزی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۴)

چکیده

هدف این پژوهش، مطالعهٔ انتقال و تجزیهٔ علف‌کش‌ها در خاک تحت سیستم‌های مختلف سم- آبیاری و سم‌پاشی معمولی بود. بدین منظور، برمید پتاسیم و متری‌بیوزین به چهار روش سم‌پاشی معمولی و بی‌درنگ آبیاری (CS1)، سم‌پاشی معمولی و آبیاری ۲۴ ساعت پس از کاربرد علف‌کش (CS2)، سم- آبیاری با آبیاری اول (HRB1)، و سم- آبیاری با آبیاری دوم (HRB2) در خاک استفاده شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار انتقال علف‌کش و برمید و کمترین تجزیهٔ علف‌کش در خاک در روش سم- آبیاری با آبیاری اول به‌دست می‌آید. در تیمار HRB1 سم- آبیاری در خاک خشک باعث انتقال سریع برمید و علف‌کش در منافذ باز خاک می‌شود و از تجزیهٔ نوری، شیمیایی، و میکروبی علف‌کش جلوگیری می‌کند. در تیمار CS2 به‌تأخیر انداختن نخستین آبیاری پس از کاربرد علف‌کش باعث پخشیدگی مولکول‌های سم به درون منافذ بین خاک‌دانه‌ای و نیز جذب سطحی آن‌ها بر ذرات آلی و معدنی خاک می‌شود. بنابراین، بخش عمدهٔ علف‌کش آب‌شویی نمی‌شود و به مدت طولانی در سطح خاک باقی می‌ماند. این وضعیت سبب افزایش تجزیهٔ آن، به‌دلیل بیشتر بودن مقدار مادهٔ آلی و جمعیت میکروبی و شدت تابش نور خورشید و رطوبت در لایهٔ سطحی، می‌شود.

کلیدواژگان: انتقال و تجزیهٔ علف‌کش، سم- آبیاری، سم‌پاشی معمولی

مقدمه

آلودگی منابع آب و خاک از مسائل مهم زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند که سلامت بشر را به مخاطره انداخته‌اند. آلاینده‌های منابع آب و خاک به دو دستهٔ معدنی و آلی تقسیم می‌شوند. فلزات سنگین مهم‌ترین آلاینده‌های معدنی خاک‌اند. به دلیل آثار زیان‌باری که فلزات سنگین بر چرخهٔ غذایی انسان و دام می‌گذارند، در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی روی مدل‌سازی رفتار و حرکت آن‌ها در خاک و نیز پالایش خاک‌های آلوده به آن‌ها انجام شده است (Khodaverdilo and Homae, 2008; Atafar et al., 2010; Babaeian and Homae, 2011; Davari and Homae, 2012; Jafarnejadi et al., 2011; Babaeian et al., 2012; Jafarnejadi et al., 2012; Jafarnejadi et al., 2013). از آلاینده‌های آلی بسیار مهم خاک مشتقات نفتی و سموم آفت‌کش را می‌توان نام برد. آلودگی خاک به وسیلهٔ مشتقات نفتی، به دلیل آثار ناخوشایندی که بر سلامت انسان و محیط زیست می‌گذارد، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده و سبب شده پژوهش‌های فراوانی در زمینهٔ

انتقال و حرکت این مواد در خاک و آلودگی‌زدایی خاک‌های آلوده به آن‌ها انجام شود (Nouri et al., 2012; Nouri et al., 2014; Nouri et al., 2013). آفت‌کش‌ها و به‌ویژه علف‌کش‌ها، که به طور فزاینده برای مهار علف‌های هرز به‌کار می‌روند، نیز از دیگر آلاینده‌های آلی کشاورزی‌اند. امروزه، به دلیل استفادهٔ بیش از حد و غیر اصولی از آفت‌کش‌ها در کشاورزی، خطرهای ناشی از آن افزایش یافته است. از این رو، محققان مختلف با آگاهی از این خطرات مطالعات متعددی را در زمینهٔ بررسی سرنوشت و نحوهٔ انتقال آفت‌کش‌ها در خاک و تعیین راهکارهای مدیریتی برای کاهش آثار آن‌ها در محیط انجام داده‌اند (Khoury et al., 2006; Villaverde et al., 2008; Pot et al., 2011; ElSayed and Prasher, 2013).

امروزه بسیاری از کشاورزان از سیستم‌های متفاوت آبیاری برای کاربرد مواد شیمیایی کشاورزی استفاده می‌کنند؛ که اصطلاحاً به آن شیم‌آبیاری^۱ گفته می‌شود (Viera et al., 2003). در سال‌های اخیر کاربرد علف‌کش‌ها همراه آب آبیاری (سم-

بارندگی سالیانه آن ۱۹۸/۸ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد، و متوسط تبخیر سالیانه آن ۱۳۳۳/۱ میلی‌متر است. آزمایش‌های مزرعه‌ای شامل چهار تیمار و سه تکرار بود. پیش از آزمایش‌ها، عملیات آماده‌سازی زمین، شامل شخم و دیسک و کرت‌بندی، انجام گرفت. تیمارها شامل سم-آبیاری با آبیاری اول (HRB1)، سم-آبیاری با آبیاری دوم (HRB2)، سم‌پاشی معمولی و آبیاری بی‌درنگ پس از کاربرد (تأخیر صفر ساعته (CS1))، و سم‌پاشی معمولی و آبیاری ۲۴ ساعت پس از کاربرد (تأخیر ۲۴ ساعته (CS2)) بود. برای اجرای آزمایش‌ها، ابتدا کرت‌هایی با ابعاد ۲/۵ × ۲/۵ متر ایجاد شد. فاصله بین تیمارها ۱/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. مرز حاشیه کرت‌ها با پوششی پلاستیکی پوشانده و کف کرت‌ها کاملاً تسطیح شد تا آبیاری غرقابی به صورت یکنواخت انجام گیرد. به منظور تعیین رطوبت خاک، در یکی از کرت‌های هر بلوک چهار عدد تانسیمومتر در اعماق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متری نصب شد. در این زمین زراعی، از چندین سال قبل از آغاز آزمایش‌ها علف‌کش متری‌بیوزین به کار نرفته بود. از فرم تجاری متری‌بیوزین به صورت پودر قابل انتشار در آب، با درجه خلوص ۷۵ درصد، با غلظت ۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار، همراه ۳۰ گرم برمید خالص در هر متر مربع، به صورت برمید پتاسیم در مزرعه، استفاده شد.

اعمال تیمارهای سم‌پاشی معمولی (CS1 و CS2) هم‌زمان با نخستین سم-آبیاری با استفاده از سم‌پاش پستی انجام گرفت. سم‌پاش بر پایه ۳۰۰-۴۰۰ لیتر آب در هکتار کالیبره شد. بی‌درنگ، پس از سم‌پاشی، علف‌کش و برمید پتاسیم به وسیله شن‌کش با خاک مخلوط شد تا از نبود این مواد در سطح اطمینان حاصل شود. در تیمارهای CS1، بی‌درنگ و در تیمارهای CS2، ۲۴ ساعت پس از سم‌پاشی آبیاری انجام گرفت. برای اعمال تیمارهای سم-آبیاری، آبیاری با دبی بالا انجام شد. زمانی که ارتفاع آب داخل کرت‌ها حدود ۸ سانتی‌متر بود، برمید پتاسیم و علف‌کش رقیق‌شده در ۱۰ لیتر آب توسط سم‌پاش پستی به طور کاملاً یکنواخت در کرت‌ها پاشیده شد. پس از اعمال تیمارهای آزمایشی، آبیاری هر ۷ تا ۱۰ روز یک بار، بر اساس روال آبیاری معمول منطقه در زراعت گندم، و نمونه‌برداری پس از رسیدن لایه سطحی خاک به رطوبت ظرفیت زراعی انجام گرفت. در هر مرحله، ارتفاع آب داده‌شده به هر کرت بین ۶ تا ۸ سانتی‌متر بود. دوره آزمایش ۷۰ روز بود که از ۱۷ دی ۱۳۹۱ آغاز شد و تا ۲۷ اسفند ۱۳۹۱ ادامه یافت. به

آبیاری)، به دلیل داشتن کارایی بیشتر در مهار علف‌های هرز و افزایش عملکرد محصول، گسترش یافته است. عدم محدودیت زمان کاربرد، عدم فشردگی خاک (کاهش تردد ماشین‌آلات)، صرفه‌جویی در هزینه‌ها، کاهش آسیب مکانیکی به گیاهان زراعی، و سازگاری با کشاورزی پایدار از فواید سم-آبیاری است (Ogg, 1986). با وجود این مزایا، برخی پژوهشگران بر این باورند که سم-آبیاری کاستی‌هایی همچون نیاز به مصرف مقدار بیشتری علف‌کش در برخی موارد، حجم زیاد آب مصرفی، و احتمال بیشتر آلودگی آب‌های زیرزمینی را به دنبال دارد (Goodman, 2004). هنگامی که علف‌کش‌ها در آب آبیاری به کار می‌روند با مقدار زیادی آب (حجم ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بیشتر از روش سم‌پاشی معمولی) مخلوط می‌شوند. بنابراین ممکن است، در مقایسه با روش‌های سم‌پاشی معمولی، به اعماق پایین‌تر خاک آب‌شویی و سبب آلودگی بیشتر لایه‌های زیرین خاک و منابع آب زیرزمینی شوند (Eberlean et al., 2000). بدین ترتیب، کاربرد علف‌کش‌ها همراه آب آبیاری نیازمند اعمال روش‌های مدیریتی دقیق با تکیه بر روش کاربرد، به منظور جلوگیری از معضلات زیست‌محیطی، است. بی‌گمان، گزینش راهبردهای بهینه مدیریتی نیازمند آگاهی از سرنوشت و چگونگی انتقال علف‌کش‌ها در خاک است. به‌رغم مطالعات فراوانی که در سال‌های اخیر در زمینه انتقال و سرنوشت آفت‌کش‌های به‌کاررفته در خاک به روش سم‌پاشی معمولی انجام شده، پژوهش‌ها برای شناخت سرنوشت و انتقال و نگاه‌داشت علف‌کش‌های به‌کاررفته با آب آبیاری، به دلیل نیاز به امکانات و تجهیزات خاص، بسیار محدود است (Koumanov et al., 2009). بیشتر مطالعات نیز محدود به بررسی کارایی این روش کاربرد سم در مهار علف‌های هرز و افزایش بهره‌وری محصول بوده است (Esua and Rumény, 1995). بنابراین، پژوهش حاضر با هدف مطالعه انتقال و تجزیه علف‌کش‌های به‌کاررفته در خاک تحت راهبردهای مختلف سم-آبیاری و سم‌پاشی معمولی و تعیین بهترین راهبردها به منظور به حداقل رساندن آثار زیان‌بار این سموم بر خاک و منابع آب زیرزمینی انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در زمینی زراعی، به مساحت ۵۰۰ متر مربع، واقع در جنوب شرقی شهر لار، در جنوب استان فارس، انجام شد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۷۹۸ متر و اقلیم آن گرم و خشک با زمستانی معتدل و تابستانی بسیار گرم است. متوسط

برداشت‌شده برای انجام‌دادن تجزیه‌ها نگهداری شد. پس از هر نمونه‌برداری، سوراخ حاصل با خاک همان‌جا پر و حداقل فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین محل‌های نمونه‌برداری رعایت شد. این نمونه‌ها سریعاً به آزمایشگاه منتقل و در محیطی کاملاً تاریک هواخشک و کوبیده و الک شدند. سپس در ظروفی شیشه‌ای ریخته و در فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام‌دادن آنالیزها نگهداری شدند. پیش از استخراج شیمیایی، نمونه‌ها از فریزر خارج شدند و مدتی در اتاق قرار گرفتند تا با دمای اتاق به تعادل برسند.

غلظت برمید، پس از عصاره‌گیری، به‌وسیله دستگاه یون‌متر، مجهز به الکتروکود انتخاب‌گر یون برمید، اندازه‌گیری شد. دامنه اندازه‌گیری برمید توسط دستگاه یون‌متر، ۵ میکرومول تا ۱ مول در لیتر و زمان تعادل آن ۱ دقیقه است. این دستگاه، پس از واسنجی، به‌طور اتوماتیک غلظت یون برمید را مستقیم در محلول اندازه می‌گیرد. واسنجی با محلول‌های بافر برمید با غلظت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۱ و ۱ مولار انجام شد.

غلظت علف‌کش متری بیوزین در نمونه‌های خاک به روش *Fenoll et al.* (2009) - یعنی توزین ۱۰ گرم نمونه خاک، افزودن ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط ۱:۱ آب + استونیتریل، قراردادن در دستگاه سونیکاتور به مدت ۴۵ دقیقه، افزودن ۲ گرم کلرید سدیم، تکان‌دادن به مدت ۵ دقیقه، سانتریفیوژ، و در نهایت عبور دادن محلول رویی از فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر، به‌وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارساز جذب الکترون، ستون موبینه HP-5 با طول ۳۰ متر و قطر ۳۲۰ میکرومتر و ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر، که فاز متحرک آن گاز نیتروژن بود، اندازه‌گیری شد.

تجزیه علف‌کش‌ها در خاک به‌طور کلی از رابطه سینتیکی مرتبه اول پیروی می‌کند (*Villaverd et al.*, 2008). در این پژوهش نیز از رابطه سینتیکی مرتبه اول (رابطه ۳) برای تشریح تغییرات غلظت علف‌کش با زمان در خاک استفاده شد.

$$\frac{dc}{dt} = -kt \quad (\text{رابطه ۳})$$

C غلظت علف‌کش (میکروگرم بر سانتی‌متر مکعب خاک)، t زمان (روز)، و k ضریب تجزیه علف‌کش (ضریب ثابت نشان‌دهنده سرعت تجزیه علف‌کش بر حسب میکروگرم در روز) است.

با انتگرال‌گیری از رابطه ۳، به شرط آنکه در $t=0$ ، $C=C_0$

باشد، رابطه ۴ به‌دست می‌آید.

طور کلی طی دوره آزمایش شش مرحله آبیاری و یک بار بارندگی اتفاق افتاد که مقدار بارندگی در محاسبات لحاظ شد. بیلان رطوبتی برای شرایط آزمایش به صورت رابطه ۱ در نظر گرفته شد.

$$DP = I + P - E - S \quad (\text{رابطه ۱})$$

S مقادیر رطوبت ذخیره‌شده در خاک یا تغییرات رطوبت خاک، I و P ارتفاع آب افزوده‌شده به ترتیب از طریق آبیاری و بارندگی، E ارتفاع آب تبخیرشده، و DP مقدار نفوذ تجمعی روزانه است.

مقادیر رطوبت ذخیره‌شده در خاک معمولاً با اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از تانسئومتر همراه رطوبت وزنی اندازه‌گیری‌شده در زمان برداشت نمونه‌ها تخمین زده می‌شود. لیکن، چون همه نمونه‌برداری‌ها در ظرفیت زراعی انجام شد، می‌توان از آن چشم‌پوشید. بنابراین، رابطه بیلان به صورت رابطه ۲ تغییر می‌یابد.

$$DP = I + P - E \quad (\text{رابطه ۲})$$

مقادیر بارش و تبخیر روزانه (به‌دست‌آمده از تستک تبخیر) طی اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاهی لارستان، که روبه‌روی اراضی مطالعاتی قرار داشت، به‌دست آمد. ارتفاع آب آبیاری نیز هنگام آبیاری کرت‌ها اندازه‌گیری شد.

پیش از آغاز آزمایش، نمونه‌هایی از اعماق ۰، ۲۰، ۲۰-، ۴۰، ۴۰-، ۶۰، و ۶۰- ۸۰ سانتی‌متری خاک مزرعه برداشت و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، شامل فراوانی نسبی اندازه ذرات به روش هیدرومتری، درصد کربن آلی به روش والکی و بلاک، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی کاتیون‌ها با استات سدیم، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، و پ-هاش در گل اشباع اندازه‌گیری شد. همچنین نمونه‌های خاک در هفت تاریخ انتخابی ۱۰ (T₁)، ۲۰ (T₂)، ۳۰ (T₃)، ۴۰ (T₄)، ۵۰ (T₅)، ۶۰ (T₆)، و ۷۰ (T₇) روز پس از کاربرد علف‌کش از چهار عمق مذکور به‌وسیله آگری با قطر مت ۵۰ میلی‌متر برداشته شدند. برای جلوگیری از درآمیختن نمونه‌های عمق‌های مختلف، احتیاط‌های لازم به‌عمل آمد. هنگام نمونه‌برداری، به منظور جلوگیری از آلودگی نمونه‌ها، مراقبت شد که خاک اطراف و خاک‌های حفر شده درون حفره ریزش نکنند. پس از هر نمونه‌برداری نیز اگر کاملاً تمیز شد تا برای نمونه‌برداری بعدی استفاده شود. افزون بر این، برای جلوگیری از آلودگی نمونه‌ها فقط قسمت درونی هر نمونه

$$DT_{50} + \frac{\ln 10}{k} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$C=C_0 e^{-kt} \quad (\text{رابطه ۴})$$

یافته‌ها و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش‌شده در جدول ۱ می‌آید. همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود، بافت خاک سطحی لوم است و به تدریج در عمق‌های پایین‌تر به سیلت لوم تغییر می‌کند. این خاک خاکی آهکی (مقدار آهک در هر چهار لایه خاک بیشتر از ۵ درصد) و مقدار کربن آلی آن در لایه‌های مختلف اندک است.

در شکل ۱ مقدار آبیاری و بارش تجمعی، تبخیر تجمعی از سطح خاک، و نفوذ خالص تجمعی به درون خاک می‌آید.

C_0 غلظت علف‌کش در زمان ۰ (میکروگرم بر سانتی‌متر مکعب خاک) است. از برازش معادله بر داده‌های غلظت علف‌کش در خاک در زمان‌های مختلف پس از کاربرد سم مقدار پارامترهای C_0 و k به دست آمد.

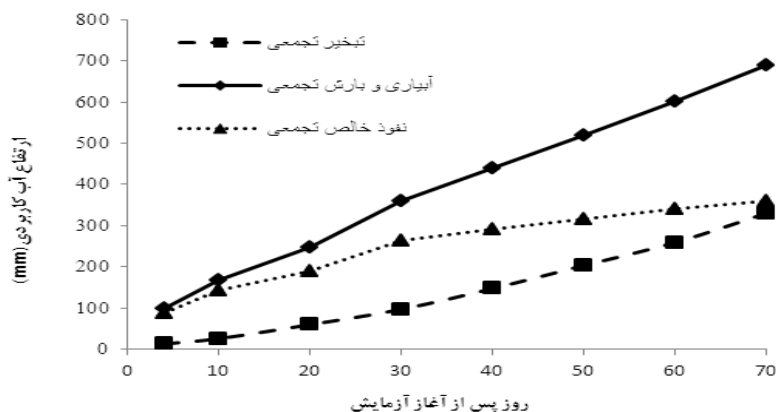
مهم‌ترین روش بیان پایداری علف‌کش‌ها و مقایسه پتانسیل تجزیه آن‌ها در خاک تعیین نیمه‌عمر (DT_{50}) و زمان لازم برای تجزیه ۹۰ درصد علف‌کش (DT_{90}) است (Bowman, 1991). بر پایه پارامتر k حاصل از رابطه ۴ مقادیر DT_{50} و DT_{90} به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۵ و ۶ محاسبه شدند.

$$DT_{50} + \frac{\ln 2}{k} \quad (\text{رابطه ۵})$$

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش‌شده

گروه بافتی	Clay %	Silt %	Sand %	OC %	CCE %	CEC (cmol kg ⁻¹)	pH	عمق (cm)
لوم	۲۰	۳۹	۴۱	۰٫۴۸	۳۷٫۵	۱۴٫۳	۷٫۹۸	۰-۲۰
سیلت لوم	۱۳٫۳۸	۶۴٫۲	۲۲	۰٫۳۵	۳۸٫۷۵	۱۴٫۴	۷٫۹۴	۲۰-۴۰
سیلت لوم	۱۳	۶۸	۱۹	۰٫۲۹	۳۳٫۷۵	۱۴٫۴	۷٫۷۵	۴۰-۶۰
سیلت لوم	۱۴	۷۱	۱۵	۰٫۱۸	۳۳٫۵۵	۱۴٫۵	۷٫۵۰	۶۰-۸۰

مقادیر میانگین سه تکرار است.



شکل ۱. مقادیر تجمعی آبیاری و بارندگی، تبخیر، و نفوذ خالص آب به نیم‌رخ خاک در دوره آزمایش

به دلیل افزایش دمای هوا تا اواخر اسفند (حداکثر دمای بهمن و اسفند به ترتیب ۲۸ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد)، افزایش یافته است؛ به گونه‌ای که در روزهای پایانی دوره آزمایش مقدار تبخیر تجمعی با آب خالص نفوذ یافته به یک‌دیگر نزدیک شده‌اند. نفوذ تجمعی خالص نیز تا ۳۰ روز پس از آغاز آزمایش افزایش یافته است؛ لیکن پس از آن با افزایش دما و افزایش تبخیر از سطح خاک از مقدار آن کاسته شده و در پایان دوره آزمایش تقریباً با مقدار تبخیر تجمعی برابر شده است.

همان‌گونه که شکل ۱ نشان می‌دهد، در دوره آزمایش حدود ۶۹۰ میلی‌متر آب به صورت آبیاری و بارندگی به خاک اضافه شده که از این مقدار ۳۳۰/۵ میلی‌متر از خاک تبخیر شده و ۳۶۰ میلی‌متر آن در خاک نفوذ کرده است. شکل ۱ همچنین نشان می‌دهد که مقدار تجمعی آبیاری و بارش با گذشت زمان از آغاز آزمایش با شیبی تند افزایش یافته است. تبخیر در ۲۰ روز نخست پس از آغاز آزمایش، به دلیل کم‌تر بودن دمای هوا در دی (حداکثر ۱۸ درجه سانتی‌گراد)، نسبتاً کم بوده و پس از آن،

جدول ۲ توازن جرمی برمید را در کل نیم‌رخ خاک در تاریخ‌های نمونه‌برداری T₁ تا T₇ برای تیمارهای مختلف سم-آبیاری و سم‌پاشی معمولی نشان می‌دهد. همان‌گونه که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، توالی درصد برمید بازیابی شده در تیمارهای مختلف به صورت

HRB1 > CS > HRB2 > CS2 است. بنابراین، بیشترین درصد برمید بازیابی شده مربوط به تیمار سم-آبیاری با آبیاری اول و کمترین درصد بازیابی برمید در تیمار کاربرد به روش سم‌پاشی معمولی و آبیاری با ۲۴ ساعت تأخیر پس از آن است.

جدول ۲. متوسط برمید بازیابی شده (درصد) در تیمارهای مختلف در زمان‌های متفاوت پس از کاربرد (T₁-T₇)

تیمار	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
HRB1	۹۹٫۹۲	۹۸٫۳۸	۹۴٫۸۷	۹۵٫۰۱	۹۵٫۱۱	۹۷٫۲۱	۹۸٫۳۶
HRB2	۹۶٫۳۲	۹۴٫۸۴	۹۲٫۶۱	۸۹٫۳۶	۹۲٫۲۵	۹۲٫۲۳	۹۰٫۸۸
CS1	۹۸٫۹۴	۹۷٫۹۲	۹۳٫۴۲	۹۴٫۸۲	۹۲٫۳۹	۹۳٫۱۱	۹۴٫۵۱
CS2	۹۱٫۰۱	۸۸٫۶۹	۹۰٫۱۲	۸۸٫۲۱	۹۱٫۳۶	۹۰٫۵۴	۸۸٫۳۲

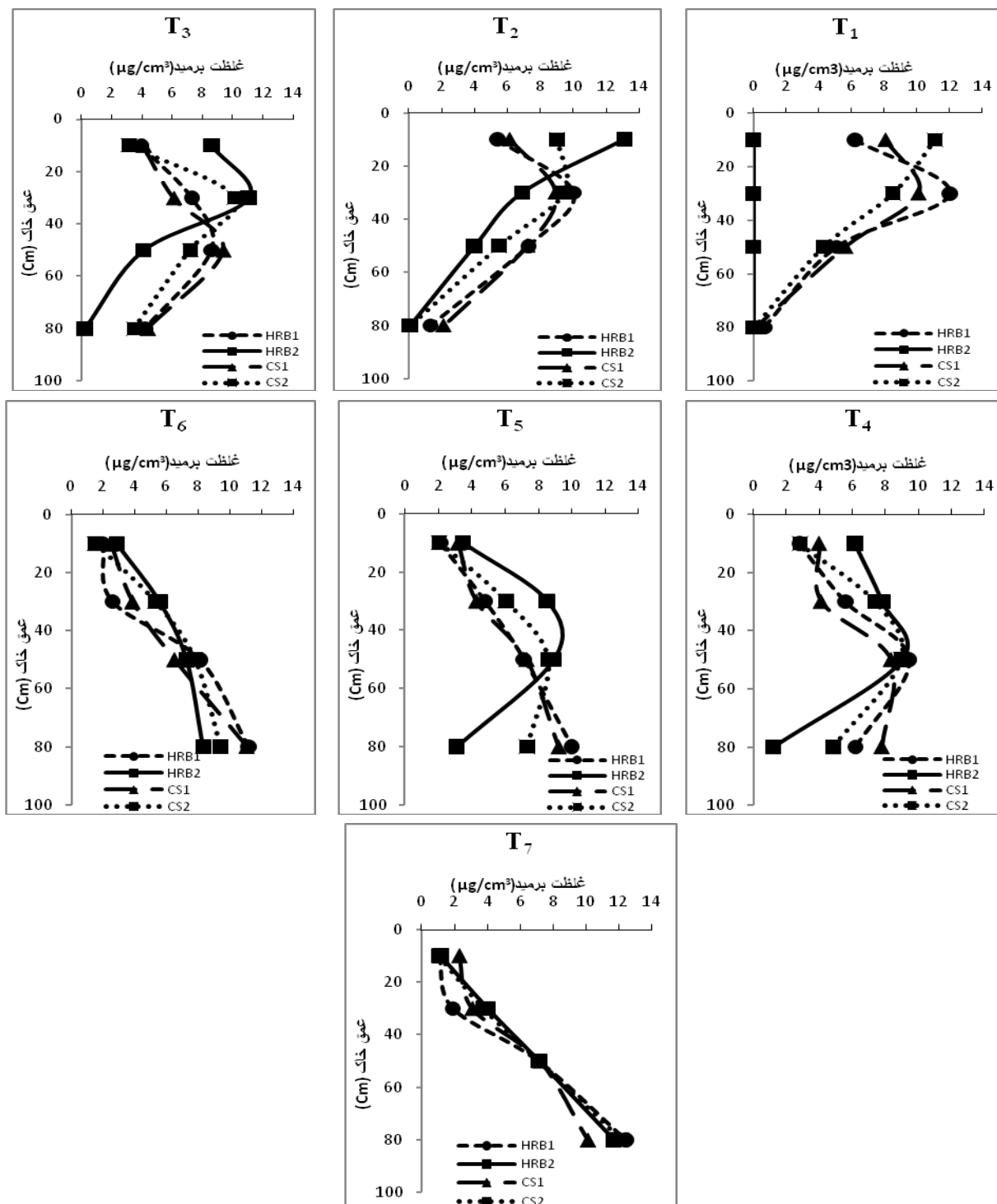
نیم‌رخ حرکت برمید در پروفیل خاک تحت تیمارهای مختلف در تاریخ‌های متفاوت پس از کاربرد در شکل ۲ می‌آید. نتایج این شکل حرکت رو به پایین برمید را به سبب حرکت توده‌ای همراه آب نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در دو تاریخ پایانی نمونه‌برداری (T₆ و T₇) توالی لایه‌ها از نظر غلظت برمید در همه تیمارها یکسان است و از الگوی ۲۰-۰ > ۴۰-۲۰ > ۶۰-۴۰ > ۸۰-۶۰ پیروی می‌کند. بر پایه این توالی، عمق مشاهده حداکثر غلظت برمید در هر دو تاریخ پایانی نمونه‌برداری لایه ۸۰ سانتی‌متری خاک است. همچنین، بر پایه این شکل، در همه تاریخ‌های نمونه‌برداری، روند انتقال برمید در تیمارهای کاربرد با سم-آبیاری اول و سم‌پاشی معمولی و آبیاری بدون تأخیر مشابه است. لیکن مقدار برمید منتقل شده در تیمار HRB1، به دلیل حجم بیشتر آب کاربردی در سم-آبیاری نسبت به سم‌پاشی معمولی و در نتیجه حل شدن مقدار بیشتری برمید در آب و حرکت آن به وسیله جریان توده‌ای، بیشتر از تیمار CS1 است. بر پایه نتایج مندرج در شکل ۲، در مقایسه بین دو تیمار سم-آبیاری، سرعت آب‌شویی برمید در روش کاربرد با سم-آبیاری اول به مراتب بیشتر از سرعت حرکت آن در تیمارهای کاربرد با سم-آبیاری دوم است. زیرا در تیمار HRB1 برمید همراه آب آبیاری در خاک خشک به کار رفته که در مقایسه با تیمار HRB2، که سم-آبیاری در خاک با رطوبت ظرفیت زراعی انجام شده، منافذ و درز و ترک‌های خاک برای انتقال کاملاً بازند. بنابراین، آب‌شویی با سرعتی بیشتر انجام شده است. همچنین، نمودارهای شکل ۲ نشان می‌دهند کمترین سرعت و مقدار انتقال برمید مربوط به تیمار سم‌پاشی معمولی و آبیاری با ۲۴ ساعت تأخیر پس از آن

است. در واقع در تیمارهای CS2 و HRB2 روند انتقال و عمق مشاهده حداکثر غلظت برمید در ۱۰، ۲۰، ۴۰، و ۶۰ روز پس از کاربرد یکسان و در ۳۰ و ۵۰ روز پس از کاربرد متفاوت است. لیکن در همه تاریخ‌ها مقدار برمید انتقال یافته در تیمار HRB2 بیشتر است. در هر دو تیمار CS2 و HRB2 باقی ماندن بخش عمده برمید مصرف شده در لایه سطحی و پخشیدگی آن به درون منافذ بین خاک‌دانه‌ای از آب‌شویی سریع این ماده به لایه‌های زیرین جلوگیری کرده است. لیکن در تیمار سم-آبیاری دوم، به دلیل استفاده از حجم بیشتر آب در زمان کاربرد برمید افزایش مقدار برمید حل شده در آب نسبت به تیمار سم‌پاشی معمولی و آبیاری با ۲۴ ساعت تأخیر، مقدار آب‌شویی این آنیون به لایه‌های زیرین در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری پس از کاربرد افزایش یافته است.

شکل ۳ حرکت علف‌کش را در نیم‌رخ خاک تحت تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. بر پایه شکل ۳ به طور کلی در همه تاریخ‌های نمونه‌برداری، پس از هر دور آبیاری، علف‌کش به طرف اعماق حرکت کرده است و به تدریج از غلظت آن در سطح کاسته و بر مقدار آن در لایه‌های زیرین افزوده شده است. این نتیجه نشان می‌دهد جریان توده‌ای در حرکت علف‌کش نقش مهمی دارد و علف‌کش می‌تواند در هر نوبت آبیاری همراه جریان آب به اعماق خاک حرکت کند. همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد سرعت انتقال علف‌کش در تیمار سم-آبیاری اول نسبت به سایر تیمارهای آزمایش بیشتر است؛ به گونه‌ای که در این تیمار در نخستین تاریخ نمونه‌برداری حداکثر غلظت علف‌کش (برابر با ۰٫۴۲ میکروگرم در سانتی‌متر مکعب خاک) در عمق ۴۰ سانتی‌متری بوده است. در تیمار CS1 نیز، با آنکه پس از آبیاری

انجام شده، که در آن حفره‌ها برای انتقال کاملاً بازند، املاح به‌سهولت به اعماق انتقال یافته‌اند. بنابراین، در مقایسه با زمانی که در تیمار HRB2 هنگام سم- آبیاری نیم‌رخ خاک مرطوب است و منافذ پر از آب‌اند (رطوبت اولیه خاک در حد ظرفیت زراعی است)، علف‌کش می‌تواند به اعماق بیشتر خاک منتقل شود. Selim (2003) نیز نتایج مشابهی گزارش کرده است.

نخست بیشترین غلظت علف‌کش (برابر با ۰/۲۹ میکروگرم در سانتی‌متر مکعب خاک) در عمق ۴۰ سانتی‌متری بوده، در مقایسه با تیمار سم- آبیاری اول، چون حجم آب کمتری در سم‌پاشی مصرف شده، مقدار علف‌کش تجمع‌یافته در عمق ۴۰ سانتی‌متری در تیمار CS1 به مراتب کمتر از غلظت این سم در تیمار HRB1 بوده است. همچنین در مقایسه دو روش سم- آبیاری، در روش HRB1، چون سم- آبیاری در خاک خشک



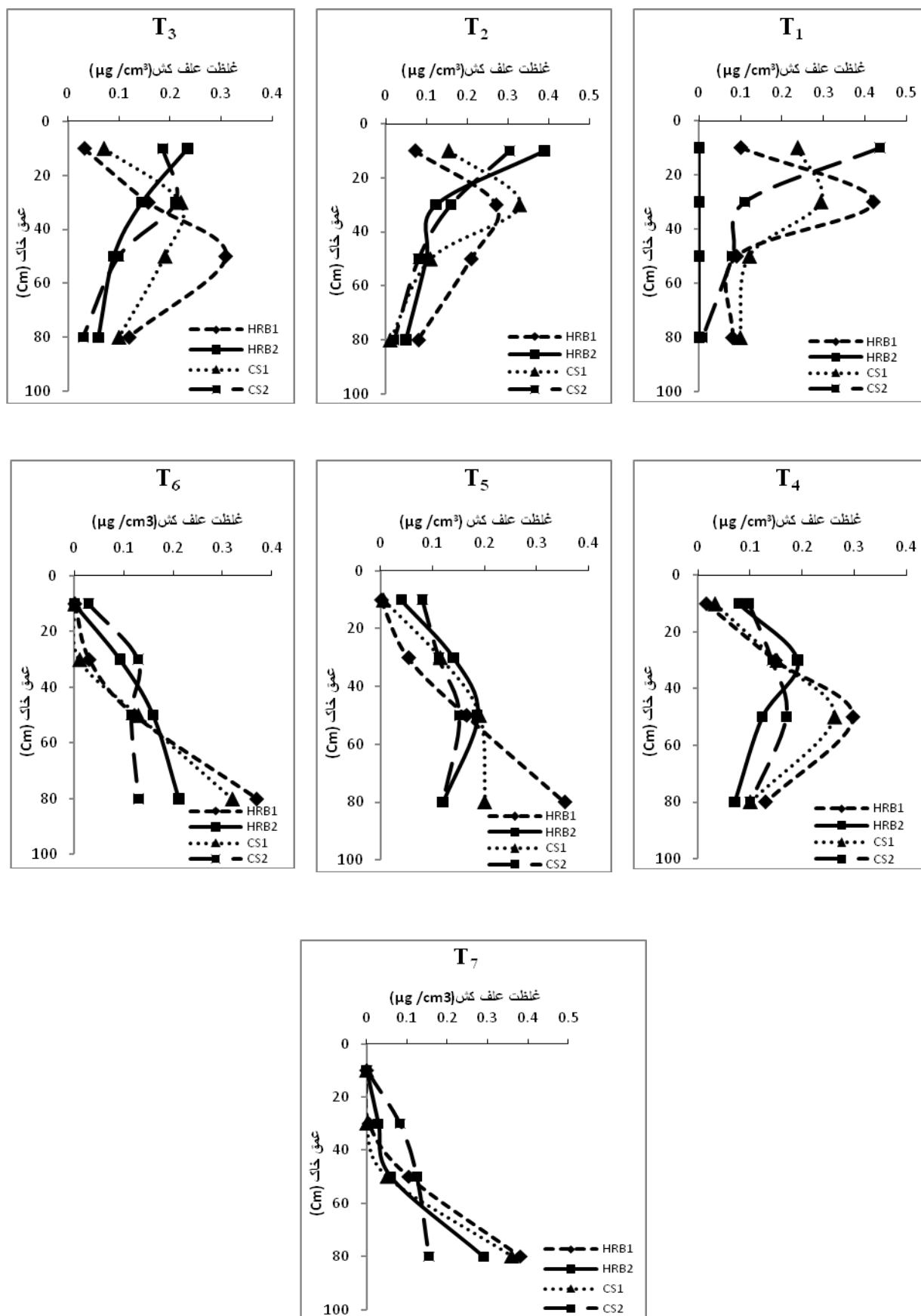
شکل ۲. نیم‌رخ حرکت برمید در خاک در تیمارهای مختلف در زمان‌های متفاوت پس از کاربرد (T₁- T₇)

همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود، حداکثر مقدار علف‌کش در همه تیمارها در دو تاریخ آخر نمونه‌برداری در لایه ۸۰ سانتی‌متری خاک تجمع یافته است. در واقع، در این دو تاریخ با گذشت زمان از آغاز آزمایش و افزایش مقدار آب نفوذیافته عمقی روند آب‌شویی در تیمارهای مختلف یکسان می‌شود؛ لیکن تفاوت در مقدار علف‌کش آب‌شویی‌شده در تیمارهای مختلف همچنان وجود دارد.

بررسی نتایج مندرج در شکل ۳ نشان می‌دهد در نوبت‌های پایانی آبیاری، که در اسفند انجام شد، با افزایش دمای هوا، آب بیشتری نسبت به نوبت‌های نخست آبیاری، که در دی و اوایل بهمن انجام شد، تبخیر شده است. به همین دلیل، مقدار آب خالص نفوذیافته در نیم‌رخ خاک مطالعه‌شده در نوبت‌های پایانی آبیاری کاهش یافته و از مقدار انتقال علف‌کش کاسته شده است. همان‌گونه که در منحنی‌های شکل ۳ دیده می‌شود در تاریخ‌های T_6 و T_7 انتقال علف‌کش در لایه‌های مختلف در همه تیمارهای آزمایشی کندتر صورت گرفته است.

بررسی نیم‌رخ حرکت برمید و علف‌کش در خاک در شکل‌های ۲ و ۳ نقش مهم جریان توده‌ای را در انتقال هر دو ماده نشان می‌دهد. مقایسه حرکت این دو ماده در این شکل‌ها نشان می‌دهد در تیمارهای HRB1 در همه تاریخ‌های نمونه‌برداری روند انتقال و عمق مشاهده حداکثر غلظت برمید و علف‌کش در خاک از الگوی مشابه پیروی می‌کند. این نتیجه، رفتار مشابه علف‌کش و برمید را به منزله یک ماده شیمیایی غیر فعال نشان می‌دهد. در توجیه این مسئله می‌توان گفت در سم-آبیاری اول، روش کاربرد سم شرایطی را ایجاد کرد که علف‌کش فرصت کافی برای باقی‌ماندن در لایه سطحی خاک و قرارگرفتن در معرض واکنش‌های جذب سطحی و تجزیه را نداشته باشد. بنابراین روند آب‌شویی آن در خاک با آنیون برمید مشابه می‌شود. در دیگر تیمارهای آزمایش نیز (HRB2 و CS1 و CS2) تشابه در الگوی انتقال و عمق مشاهده حداکثر غلظت علف‌کش و برمید در تاریخ‌های نمونه‌برداری T_1 ، T_6 و T_7 دیده می‌شود. این نتیجه گویای این واقعیت است که به دلیل کم‌بودن درصد ماده آلی درصد کانی‌های رسی و جمعیت میکروبی در لایه سطحی خاک آزمایش‌شده، به طور کلی، تأثیر جذب سطحی و تجزیه‌های نوری و شیمیایی و میکروبی بر انتقال علف‌کش ناچیز است و بنابراین می‌توان گفت آب‌شویی مهم‌ترین فرآیند کنترل‌کننده انتقال علف‌کش در این خاک است.

بر پایه نتایج شکل ۳، روند انتقال علف‌کش در تیمارهای CS2 و HRB2 در ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ روز پس از کاربرد از الگوی مشابه پیروی می‌کند. لیکن مقدار علف‌کش انتقال‌یافته در تیمار HRB2، به دلیل کاربرد سم همراه آب آبیاری، به مراتب بیشتر است. همچنین، در مقایسه بین دو تیمار سم‌پاشی معمولی، در تیمار CS1 الگوی انتقال علف‌کش در تاریخ‌های T_1 ، T_2 ، T_3 و T_5 متفاوت و سرعت آب‌شویی در این تیمار بیشتر است؛ به گونه‌ای که در تاریخ‌های T_1 و T_2 در تیمار CS1 حداکثر غلظت علف‌کش در لایه ۴۰ سانتی‌متری و در تیمار CS2 حداکثر غلظت علف‌کش در لایه ۲۰ سانتی‌متری خاک مشاهده می‌شود. لیکن در دو تاریخ پایانی آزمایش روند انتقال علف‌کش در نیم‌رخ خاک در هر دو تیمار CS1 و CS2 مشابه است؛ با این تفاوت که مقدار علف‌کش انتقال‌یافته در تیمار CS1 بیشتر از تیمار CS2 است. در تیمار CS1، چون آبیاری بلافاصله پس از سم‌پاشی انجام شد، مولکول‌های علف‌کش فرصت خیلی کمی برای جذب شدن به سطح ذرات آلی و معدنی خاک و تجزیه نوری و بیولوژیک و شیمیایی یا پخشیدگی به درون منافذ بین خاک‌دانه‌ای را داشتند. بنابراین، بخش عمده علف‌کش به آسانی با آب به اعماق پایین‌تر شسته می‌شود. لیکن هنگامی که نخستین آبیاری پس از کاربرد علف‌کش به مدت ۲۴ ساعت به تأخیر بیفتد، مولکول‌های علف‌کش با پخشیدگی به منافذ بین خاک‌دانه‌ای یا جذب بر سطوح ذرات آلی و معدنی خاک از آب‌شویی سریع در امان می‌مانند و تحت تأثیر واکنش‌های تجزیه و جذب سطحی قرار می‌گیرند. (Kazemi et al. 2009) نیز نتایج مشابهی ارائه کرده‌اند. بنابراین، بیشترین غلظت علف‌کش در تیمار CS2 در دو تاریخ ابتدایی آزمایش در عمق ۲۰ سانتی‌متری مشاهده می‌شود. لیکن با گذشت زمان از کاربرد و با افزایش رطوبت خاک، چون در حضور آب، مولکول‌های آب‌دوست علف‌کش متری بیوزین پیوند با مولکول‌های آب را به جذب بر سطوح ذرات آلی و معدنی ترجیح می‌دهند، به تدریج از روی سطوح مواد آلی و کانی‌های رسی رها یا از منافذ بین خاک‌دانه‌ای خارج می‌شوند و با مولکول‌های آب از طریق پیوند هیدروژنی واکنش نشان می‌دهند و کمپلکس‌های آب‌دوست تشکیل می‌دهند و به اعماق زیرین خاک آب‌شویی می‌شوند. بنابراین، غلظت علف‌کش در تیمار CS2 با آهنگ کندتری نسبت به تیمار CS1 در لایه‌های زیرین افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج ElSayed and Prasher (2013) هم‌خوانی دارد.

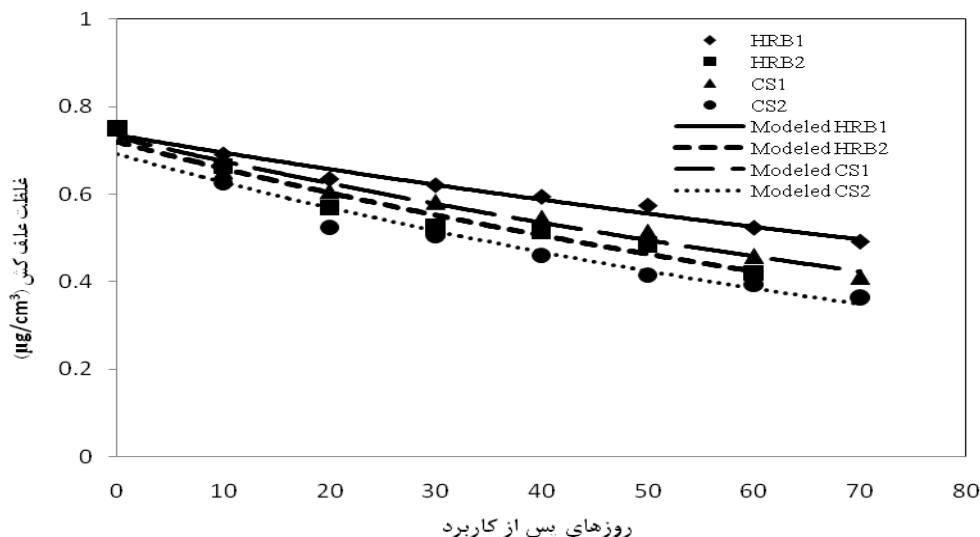


شکل ۳. نیمرخ غلظت علف کش در خاک در تیمارهای مختلف در زمان‌های متفاوت (T₁- T₇) از آغاز آزمایش

میکروبی و نوری و شیمیایی علف‌کش‌ها، به دلیل کاهش مواد آلی، کاهش جمعیت میکروبی، کاهش دما و رطوبت خاک، و در نهایت عدم وجود نور خورشید در اعماق زیرین خاک بسیار محدود است (Lopez-Pineiro *et al.*, 2013). بنابراین، انتقال سریع علف‌کش به لایه‌های زیرین در تیمار HRB1 پایداری آن را در خاک نسبت به سایر تیمارها افزایش می‌دهد. این نتیجه با نتایجی که Bouchard *et al.* (1982)، Denial *et al.* (2002)، Kjaer *et al.* (2005) و Villaverde *et al.* (2008) گزارش کرده‌اند و نشان داده‌اند تجزیه علف‌کش با افزایش عمق کاهش می‌یابد هم‌خوانی دارد.

تجزیه علف‌کش در خاک تحت تیمارهای مختلف سم- آبیاری و سم‌پاشی معمولی

نتایج اندازه‌گیری غلظت کل علف‌کش در نمونه‌های خاک از زمان مصرف تا ۷۰ روز پس از کاربرد در تیمارهای مختلف در شکل ۴ می‌آید. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، مقدار کل غلظت باقی‌مانده علف‌کش در خاک در روزهای مختلف پس از کاربرد در تیمار HRB1 بیشتر از تیمارهای CS1، HRB2 و CS2 است که پایداری بیشتر علف‌کش در تیمار HRB1 را نشان می‌دهد. دلیل این امر را می‌توان انتقال سریع علف‌کش به لایه‌های زیرین خاک در روش کاربرد با نخستین سم- آبیاری در خاک خشک دانست. بر پایه گزارش پژوهشگران، مقدار تجزیه



شکل ۴. کل غلظت باقی‌مانده علف‌کش در خاک در روزهای متفاوت پس از کاربرد در تیمارهای سم- آبیاری (HRB1 و HRB2) و سم‌پاشی معمولی (CS1 و CS2)

به ۰٫۶۳، ۰٫۵۶، ۰٫۶۰، و ۰٫۵۲ می‌رسد. در واقع در تیمار CS2 به تأخیر انداختن نخستین آبیاری پس از کاربرد موجب شده بخش عمده علف‌کش به کاررفته تا ۳۰ روز پس از کاربرد در لایه سطحی خاک باقی بماند. بر پایه گزارش برخی پژوهشگران این لایه بهترین شرایط را برای تجزیه نوری و شیمیایی و زیستی دارد (Lagat *et al.*, 2011). این نتیجه با نتایجی که Kazemi *et al.* (2009) ارائه کرده‌اند و نشان داده‌اند تأخیر در نخستین آبیاری پس از کاربرد موجب افزایش تجزیه آفت‌کش کربوفوران می‌شود مطابقت دارد.

نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد به طور کلی سرعت تجزیه در همه تیمارها، با گذشت زمان، به‌رغم آنکه در روزهای پایانی آزمایش بر پایه داده‌های هواشناسی موجود و شدت تابش نور

بر پایه نتایج شکل ۴ پایداری علف‌کش در تیمار CS1 بیشتر از پایداری آن در تیمارهای CS2 و HRB2 است. دلیل این اختلاف نیز انتقال سریع علف‌کش به لایه‌های زیرین خاک در تیمار CS1 و درامان ماندن از تجزیه در لایه سطحی خاک است. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، غلظت کل علف‌کش باقی‌مانده در خاک در تاریخ‌های مختلف پس از کاربرد در تیمار CS2 کمترین مقادیر را دارد که نشان می‌دهد علف‌کش در این تیمار با سرعت بیشتری تجزیه شده است؛ به گونه‌ای که مثلاً غلظت علف‌کش در خاک پس از گذشت ۱۰ روز از کاربرد آن در تیمارهای HRB1، HRB2، CS1، و CS2 به ترتیب ۰٫۶۹، ۰٫۶۶، ۰٫۶۵، و ۰٫۶۲ است که پس از ۲۰ روز از کاربرد مقدار آن در هر یک از تیمارهای HRB1، HRB2، CS1، و CS2 به ترتیب

مختلف آزمایشی و مقادیر محاسبه شده با استفاده از رابطه سینتیکی مرتبه اول وجود دارد. بسیاری از پژوهشگران نیز این معادله را برای توصیف تجزیه اغلب علفکشها، از جمله متری بیوزین در مزرعه و آزمایشگاه، مناسبترین معادله دانسته اند (Henriksen et al., 2004; Khoury et al., 2006).

مقدار پارامترهای C_0 و k به دست آمده از برازش رابطه سینتیکی مرتبه اول (رابطه ۳) بر داده های آزمایشی در جدول ۳ به تفکیک برای هر تیمار می آید. مقدار ضریب تجزیه k برای علفکش در تیمارهای HRB1، HRB2، CS1، و CS2 به ترتیب ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۹، ۰/۰۰۸، و ۰/۰۰۱- به دست آمد که نشان می دهد کاربرد علفکش در سم- آبیاری اول به کاهش تجزیه آن در خاک نسبت به کاربرد در سم- آبیاری دوم و نیز کاربرد به روش های سم پاشی معمولی منجر می شود.

مقادیر نیمه عمر (DT50) و زمان لازم برای تجزیه ۹۰ درصد متری بیوزین (DT90) در تیمارهای مختلف آزمایشی در جدول ۳ می آید.

خورشید و دمای خاک افزایش چشمگیری نسبت به روزهای ابتدایی داشته، کاهش یافته است. این نتیجه با نتایجی که Peter and Weber (1985)، Bowman et al. (1991)، و Bedmar et al. (2004) گزارش کرده اند مطابقت دارد. دلیل کاهش سرعت تجزیه را می توان آب شویی بخش عمده علفکش مصرفی در ابتدای آزمایش به لایه های زیرین و ناچیز بودن غلظت علفکش در لایه سطحی خاک در روزهای پایانی آزمایش در همه تیمارها دانست. در واقع، در صورت ادامه آزمایش و تکرار دوره های آبیاری هفت تا ده روزه مسیر اصلی هدررفت علفکش در این خاک، آب شویی به لایه های زیرین خواهد بود و تجزیه شیمیایی و به ویژه تجزیه نوری، به دلیل نبود نور در اعماق خاک، و متابولیسم میکروبی، به دلیل ناچیز بودن جمعیت و فعالیت میکروبی در لایه های زیرین خاک، نقش چندانی نخواهد داشت.

همان گونه که شکل ۴ نشان می دهد، تطابق مناسبی بین مقادیر اندازه گیری شده غلظت علفکش در خاک در تیمارهای

جدول ۳. پارامترهای برآورد شده با رابطه سینتیکی مرتبه اول و طول عمر علفکش در تیمارهای متفاوت آزمایش

تیمار	k ($\mu\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$)	C_0 ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^3$)	DT ₅₀ Day	DT ₉₀ Day	R ²
HRB1	-۰/۰۰۶	۰/۷۳۴۹	۱۱۵/۵	۳۸۳/۳	۰/۹۷
HRB2	-۰/۰۰۹	۰/۷۱۳۶	۷۷	۲۵۵/۸	۰/۹۸
CS1	-۰/۰۰۸	۰/۷۲۹۵	۸۶/۶	۲۸۷/۵	۰/۹۷
CS2	-۰/۰۰۱	۰/۷۱۸	۶۹/۳	۲۳۰	۰/۹۹

با آبیاری اول بیشترین و در تیمار سم پاشی معمولی و آبیاری با ۲۴ ساعت تأخیر پس از آن کمترین است.

نتیجه گیری

سرعت و مقدار آب شویی علفکش به اعماق زیرین خاک، در صورت کاربرد در سم- آبیاری اول، به دلیل آبیاری در خاک خشک و خالی بودن منافذ خاک از آب، نسبت به زمانی که در سم- آبیاری دوم استفاده شود بیشتر است. افزون بر این، به دلیل کاربرد حجم زیاد آب در سم- آبیاری، مقدار آب شویی علفکش در تیمار سم- آبیاری اول به مراتب بیش از تیمارهای سم پاشی معمولی (CS1 و CS2) است. نتایج این پژوهش نشان می دهد، در شیوه معمول سم پاشی، زمان نخستین آبیاری پس از کاربرد علفکش نقش مهمی در آب شویی آن ایفا می کند. بیشترین هدررفت سم طی نخستین آبیاری پس از کاربرد آن

بر پایه نتایج جدول ۳، نیمه عمرهای ۱۱۵/۵، ۷۷، ۸۶/۶، و ۶۹/۳ روز برای علفکش به ترتیب در روش های کاربرد HRB1، HRB2، CS1، و CS2 به دست آمد که در محدوده نیمه عمر گزارش شده برای علفکش متری بیوزین (۳۰ تا ۱۲۰ روز) است. همان گونه که ملاحظه می شود، بیشترین پایداری در تیمار HRB1 و کمترین آن در تیمار CS2 است که نقش تجزیه نوری و شیمیایی و زیستی را در لایه سطحی خاک در تجزیه علفکش نمایان می سازد. زمان لازم برای تجزیه ۹۰ درصد علفکش نیز در تیمارهای HRB1، HRB2، CS1، و CS2 به ترتیب ۳۸۳/۳، ۲۵۵/۸، ۲۸۷/۵، و ۲۳۰ روز محاسبه شد که با یافته های دیگر پژوهشگران هم خوانی دارد (Henriksen et al., 2004). بر پایه این نتایج، توالی پایداری علفکش در خاک در شرایط این آزمایش به صورت HRB1 > CS1 > HRB2 > CS2 است. بر پایه این توالی، پایداری علفکش در تیمار سم- آبیاری

می‌گیرند. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، به منظور کاهش آب‌شویی علفکش‌ها و آلودگی لایه‌های زیرین خاک و منابع آب زیرزمینی و نیز افزایش عملکرد آن‌ها در مزرعه، کاربرد علفکش در سم- آبیاری دوم توصیه می‌شود. در صورت سم‌پاشی معمولی، به تأخیر انداختن نخستین آبیاری پس از کاربرد سم در مزرعه پیشنهاد می‌شود.

REFERENCES

- Aminopolycarboxylic Acids. *Journal of Water and Soil*, 24(6), 1142- 1150. (In Farsi.)
- Atafar, Z. A. R., Mesdaghinia, J., Nouri, M., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghadam, M., and Mahvi, A. H. (2010). Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental Monitoring assessment*, 160, 83-89.
- Babaeian, E. and Homae, M. (2011). Enhancing Lead Phytoextraction of Land Cress (*Barbara verna*) Using.
- Babaeian, E., Homae, M., and Rahnamaie, R. (2012). Enhancing phytoextraction of lead contaminated soils by carrot (*Daucus carota*) using synthetic and natural chelates. *Journal of Water and Soil*, 26(3), 607- 618. (In Farsi).
- Bedmar, F., Costa, J. L., Suero, E., and Gimenez, D. (2004). Transport of atrazine and metribuzin in three soils of the humid pampas of Argentina. *Weed Technology*, 18, 1- 8.
- Bouchard, D. C., Lavy, T. L., and Marx, D. B. (1982). Fate of metribuzin, metolachlor, and fluometuron in soil. *Weed Science*, 30, 629- 632.
- Bowman, B. T. (1991). Mobility and dissipation studies of metribuzin, atrazine and their metabolites in plainfield sand using field lysimeters. *Environmental Toxicology Chemistry*, 10, 573- 579.
- Davari, M. and Homae, M. (2012). A New Yield Multiplicative Model for Simultaneous Phytoextraction of Ni and Cd from Contaminated Soils. *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1332-1343. (In Farsi).
- Denial, P. E., Bedmar, F., Costa, L. J., and Aparicio, V. C. (2002). Atrazine and metribuzin sorption in soils of the Argentinean humid pampas. *Environmental Toxicology Chemistry*, 21, 2567-2572.
- Eberlean, C. H. V., King, B. A., and Guttieri, M. J. (2000). Evaluating an automated irrigation controlsystem for site-specific herbigation. *Weed Technology*, 14(1), 182- 187.
- ElSayed, E. M. and Prasher, S. O. (2013). Effect of the presence of nonionic surfactant Brij35 on the mobility of metribuzin in soil. *Applied Science*, 3, 469- 489.
- Esua, R. and Rumeny, V. (1995). *Herbigation, In 1985 annual report*. Canada: Alberta Horticultural Research Center.
- Fenoll, J., Hellin, P., Martinez, C. M., and Flores, P. (2009). Multiresidue analysis of pesticides in soil by High-Performance Liquid Chromatography with tandem mass spectrometry. *Environmental Science and Health*, 92 (5), 1566- 1575.
- Goodman, N. (2004). *Private pesticide applicator training manual*.: (18th ed). (pp. 197). University of Minnesota Extension Service.
- Henriksen, T., Svensmark, B., and Juhler, R. K. (2004). Degradation and sorption of metribuzin and primary metabolites in a sandy soil. *Journal of Environmental Quality*, 33, 619- 627.
- Jafarnejadi, A. R., Homae, M., Sayyad, Gh. A., and Bybordi, M. (2012). Evaluation of main soil properties affecting Cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(2), 149- 164. (In Farsi).
- Jafarnejadi, A. R., Homae, M., and Sayyad, G. (2011). Large scale spatial variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. *Soil and Sediment Contamination Journal*, 20(1), 93- 99
- Jafarnejadi, A. R., Sayyad, G., Homae, M., and Davamei, A. H. (2013). Spatial variability of soil total and DTPA-extractable cadmium caused by long-term application of phosphate fertilizers, crop rotation and soil characteristics. *Environmental Monitoring Assessment*, 185, 4087- 4096. (In Farsi).
- Kazemi, H. V., Anderson, S. H., Goynes, K. W., and Gantzer, C. J. (2009). Aldicarb and carbofuran transport in a Hapludalf influenced by differential antecedent soil water content and irrigation delay. *Chemosphere*, 74, 265- 273.
- Khodaverdilo, H. and Homae, M. (2008). Modeling Cadmium and Lead phytoextraction from contaminated soils. *Polish Journal of Soil Science*, 2(2), 149- 162.
- Khoury, R., Coste, C. M., and Kawar, N. S. (2006). Degradation of metribuzin in two soil types of Lebanon, *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 41(6), 795- 806.
- Kjaer, J., Olsen, P., Henriksen, T., and Ullum, M. (2005). Leaching of metribuzin metabolites and the associated contamination of a sandy Danish

رخ می‌دهد و به‌ازای هر روز تأخیر بین کاربرد سم و آبیاری یا بارندگی آب‌شویی کاهش می‌یابد. در واقع گذشت مدت زمان بیشتر بین کاربرد علفکش و نخستین آبیاری فرصتی بیشتر در اختیار سموم برای تجزیه، اتصال به ذرات خاک، یا حذف شدن از خاک قرار می‌دهد. بنابراین، علفکش‌های موجود کمتر در معرض شست‌وشو از خاک و انتقال به آب زیرزمینی قرار

- aquifer. *Environmental Science Technology*, 39, 8374– 8381.
- Koumanov, K. S., Rankova, Z., and Kolev, K. (2009). Herbigation in a Cherry Orchard – Translocation and Persistence of Pendimethalin in the Soil. *Environmental Science Technology*, 29, 6271– 6281.
- Lagat, S. C., Lalah, J. O., Kowenje, C. O., and Getenga, Z. M. (2011). Metribuzin mobility in soil column as effected by environmental and physico- chemical parameters in Mumias sugarcane. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(3), 27- 33.
- Lopez-Pineiro, A., Pena D., Albarran, A., Becerra, D., and Sanchez-Llerena, J. (2013). Sorption, leaching and persistence of metribuzin in Mediterranean soils amended with olive mill waste of different degrees of organic matter maturity. *Journal of Environmental Management*, 122, 76- 84.
- Nouri, M., Homae, M., and Bybordi, M. (2012). Parametric assessment of soil hydraulic functions at presence of Kerosene contaminant, *Journal of Water and Soil Resource Conservation*, 2 (1), 37- 48. (In Farsi).
- Nouri, M., Homae, M., and Bybordi, M. (2013). Parametric assessment of soil retention at presence of petroleum in three phase system. *Journal of Water and Soil Resource Conservation*, 2 (2), 15- 25. (In Farsi).
- Nouri, M., Homae, M., and Bybordi, M. (2014). Comparing Petroleum and Water Hydraulic Properties in Soil. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 15 (66), 123- 134. (In Farsi).
- Ogg, A. G. (1986). Applying herbicides in irrigation water-a review. *Crop Protection*, 5(1), 53- 65.
- Peter, J. C. and Weber, J. B. (1985). Adsorption, mobility and efficacy of meribuzin as influenced by soil properties. *Weed Science*, 33, 869- 873.
- Pot, V., Benoit, P., LeMenn, M., Eklo, O. M., Sveistrup, T., and Kvarnerc, J. (2011). Metribuzin transport in undisturbed soil cores under controlled water potential conditions: experiments and modeling to evaluate the risk of leaching in a sandy loam soil profile. *Pest Management Science*, 67, 397– 407.
- Selim, H. M. (2003). Retention and runoff losses of atrazine and metribuzin in soil. *Journal of Environmental Quality*, 32, 1058– 1071.
- Southwick, L. M., Wills, G. H., Johnson, D. C., and Selim, H. M. (1995). Leaching of nitrate atrazine and meribuzin from sugarcane in Southern Louisiana, *Journal of Environmental Quality*, 24, 684-690.
- Viera, R. F., Silva, A. A., and Ramos, M. M. (2003). Applying postemergence herbicide through sprinkler irrigation –Review. *PlantaDaninha Journal*, 21(3), 495- 506.
- Villaverde, J., Kah, M., and Brown, C. D. (2008). Adsorption and degradation of four acidic pesticides in soils from southern Spain. *Pest Management Science*, 64, 703– 710.
- Zindahl, R. L. and Clark, S. K. (1982). Degradation of three acetanilide herbicides in soil. *Weed Science*, 30, 545– 552.