



## ارزیابی تأثیر بافت و مواد آلی خاک بر تجزیه علف کش آترازین

ابراهیم ایزدی<sup>۱</sup>، محمد حسن راشد محصل<sup>۱</sup>، اسکندر زند<sup>۱</sup>، مهدی نصیری محلاتی<sup>۱</sup>، امیر لکزیان<sup>۱</sup>

۱- گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

۲- بخش تحقیقات علف‌های هرز، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی

### Evaluation of Soil Texture and Organic Matter on Atrazine Degradation

Ebrahim Izadi<sup>1</sup>, Mohammad Hassan Rashed Mohassel<sup>1</sup>,  
Eskandar Zand<sup>2</sup>, Mehdi Nassiri mohalati<sup>1</sup>,  
Amir Lakzian<sup>1</sup>

1- Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture,  
Ferdowsi University of Mashhad

2- Department of Weed Research, Plant Protection Research  
Institute, Tehran, Iran.

#### Abstract

Atrazine is the most important triazine herbicides with moderately persistence in soil. The objective of this investigation was to study the degradation of atrazine (50 ppm) in two soils different in texture. Experiment was conducted in completely randomized design with factorial arrangement and 3 replications. Experimental factors included, soil texture (sandy loam and silty clay) and organic manure (0, 2 and 5 percent(w/w)). Soil samples were incubated at 30 oC and dark conditions for 0, 20, 40 and 60 days. At the end of each incubation period, atrazine residue was measured with HPLC. Data was fitted to first order kinetic equation for analysis. Results showed that soil texture and organic manure had significant effects on atrazine degradation rate. Atrazine degradation rate in clay soil with no organic amendment was 1.54 times higher than sandy soil and its half life were 138.6 and 90 days in two soil respectively. Atrazine degradation coefficient increased by 1.14, 1.8 times in sandy loam soil and by 1.54, 2.46 times in silty clay soil with 2 percent and 5 percent organic amendment, and the half-life decreased from 138.6, days to 121.57 and 77 days in sandy soil and from 90, days to 58.22 and 38 days in clay soil. It seems that atrazine degradation in silty clay soil is more than sandy loam soil and soil organic manure have an important role in atrazine bioremediation.

**Keywords:** Atrazine (Aaterax), half-life, organic matter, degradation, soil texture.

### چکیده

آترازین مهم‌ترین علف کش خانواده تریازین‌ها است که جزو آفت کش‌های با نیمه عمر متوسط طبقه‌بندی می‌شود. به منظور بررسی تأثیر بافت و مواد آلی خاک بر تجزیه آترازین، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقات علف‌های هرز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی اجرا شد. بافت خاک در دو سطح (لوم شنی و رس سیلتی)، مواد آلی (کود دامی) در سه سطح (۰، ۲ و ۵ درصد وزنی) عوامل مورد بررسی در این آزمایش بودند. برای آلوده کردن خاک به آترازین از انحلال آترازین تجاری در متانول استفاده شد و نمونه‌ها به نسبت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک آلوده شدند. در طول آزمایش در دمای ثابت ۳۰ درجه سانتی‌گراد، در شرایط تاریکی و در ۴ دوره زمانی ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز در انکوباتور نگهداری شدند و باقیمانده آترازین در پایان هر دوره خواباندن نمونه‌ها توسط دستگاه HPLC تعیین شد. تحلیل نتایج، با استفاده از آنالیز رگرسیون و برازش داده‌ها به معادله سینتیکی درجه اول انجام شد. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار بافت خاک و مواد آلی بر سرعت تجزیه و نیمه عمر آترازین بود. تجزیه آترازین در خاک با بافت رس سیلتی، در شرایط عدم کاربرد کود آلی ۱/۵۴ برابر خاک با بافت لوم شنی و نیمه عمر آن در دو بافت به ترتیب ۱۳۸/۶ و ۹۰ روز بود. افزودن ۲ و ۵ درصد کود آلی در خاک لوم شنی، ضریب تجزیه آترازین را به ترتیب ۱/۱۴ و ۱/۸ برابر و در خاک رس سیلتی، ۱/۵۴ و ۲/۳۶ برابر افزایش، و نیمه عمر آن را در خاک لوم شنی، از ۱۳۸/۶ به ۱۲۱/۵۷ و ۷۷ روز و در خاک رس سیلتی، از ۹۰ روز به ۵۸/۲۲ و ۳۸ روز کاهش داد. به طور کلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان دادند که تجزیه آترازین در خاک رس سیلتی به مراتب بیشتر از خاک لوم شنی است و مواد آلی نقش مهمی در سرعت تجزیه آترازین دارند و می‌توانند به عنوان پالاینده این علف کش در خاک مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: آترازین (ایترکس)، بافت خاک، ماندگاری، مواد آلی، نیمه عمر.

## مقدمه

آترازین مهم‌ترین و پرکاربردترین علف‌کش خانواده تریازین‌های متقارن است که به طور گسترده‌ای در سطح جهانی (Corriea et al., 2007; Gu et al., 2003; Shaner and Henry, 2007) و ایران (Zand et al., 2002) به عنوان یک علف‌کش انتخابی پیش‌کاشت، پیش‌رویشی و یا بلافاصله پس از رویش برای کنترل علف‌های هرز ذرت، نیشکر و زمین‌های غیر زراعی، به کار می‌رود (Tasliet et al., 1996). افزایش بی‌رویه کاربرد این علف‌کش، در بسیاری از نقاط دنیا، آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آن را به یک مشکل جهانی تبدیل کرده است. در این ارتباط می‌توان به آلودگی آب‌های زیرزمینی (Briceno and Palma, 2007; Kadian et al., 2007;) و (Popov et al., 2005; Shaner and Henry, 2007) ماندگاری آترازین در خاک (Corriea et al., 2007; Forouzangohar et al., 2005; Itoh et al., 2003; Kadian et al., 2007; Popov et al., 2005) از طریق تأثیر بر بهداشت آب آشامیدنی، ریز موجودات خاک و سلامت اکوسیستم خاک اشاره کرد. در کانادا این علف‌کش جزء ۸۳ آفت‌کش مهم آلاینده آب طبقه‌بندی شده است و در مناطقی که به کار می‌رود غلظت آن بیش از حد استاندارد است. در رودخانه‌های ایالات متحده آمریکا غلظت آن از صفر تا ۸۷، در آب‌های مدیترانه از ۰/۰۱۷ تا ۰/۳۸۵ و در دریای بالتیک و سیاه از ۰/۰۰۱ تا ۰/۱۱ میکروگرم در لیتر گزارش شده است (Bentein and Devillers, 1996). با توجه به موارد مذکور به نظر می‌رسد، برای کاهش خطر آلودگی‌های ناشی از این علف‌کش لازم است که عوامل موثر بر سرنوشت آن در محیط شناخته شود (Briceno and Palma, 2007). از آنجایی که در علف‌کش‌های خاک مصرفی مثل آترازین، خاک مخزن اصلی ذخیره و نگهداری آنها است، درک عوامل موثر بر ماندگاری و تجزیه آنها به منظور شناخت سرنوشت آنها مهم است (Theng et al., 2000).

منابع مختلف، آترازین را یک علف‌کش نسبتاً پایدار گزارش کرده‌اند که بسته به شرایط نیمه عمری بین ۶ روز (Mueller et al., 2003) تا بیش از یک سال دارد (Robert et al., 2006; Streck, 2005). به نظر می‌رسد پایداری نسبتاً بالای این علف‌کش در خاک و نیز تحرک زیاد آن در لایه سطحی و زیر سطحی خاک، ضمن این‌که احتمال آلودگی منابع آب زیرزمینی و رواناب‌ها را افزایش می‌دهد، با تأثیر بر جامعه میکروبی خاک پایداری اکوسیستم خاک را نیز تهدید نموده (Forouzangohar et al., 2005; Itoh et al., 2003;) (Mueller et al., 2003)، و از سوی دیگر، محدودیت تناوب زراعی در محصولات زراعی حساس به این علف‌کش را افزایش می‌دهد (Itoh et al., 2003; Streck, 2005). درک عوامل و فرایندهای موثر بر سرنوشت علف‌کش‌ها امکان استفاده از پتانسیل‌های لازم جهت کاهش آلودگی‌های احتمالی را فراهم می‌کند (Briceno and Palma, 2007; Popov et al., 2005). تجزیه زیستی و شیمیایی فرایندهای اصلی تعیین‌کننده سرنوشت آترازین در خاک هستند (Mbuya et al., 2001; Mueller et al., 2003;) (Robert et al., 2006; Schoenau et al., 2005) که تحت تأثیر عوامل خاکی از جمله اسیدیته (Halloway et al., 2006)، درجه حرارت (Streck, 2005) و به خصوص بافت و مقدار مواد آلی (Forouzangohar et al., 2005; Tasli et al., 1996) قرار می‌گیرند. بافت خاک از طریق تأثیر بر جذب و دفع آفت‌کش عامل مهمی در این رابطه است. از یک نظر افزایش درصد رس از طریق افزایش جذب آفت‌کش به خصوص در آفت‌کش‌های قطبی، به ذرات رس مانع آبشویی شده و از سوی دیگر به دلیل ظرفیت نگهداری بیشتر آب، واکنش هیدرولیز (تجزیه شیمیایی) در این خاک‌ها به مراتب نسبت به خاک‌های بافت درشت بیشتر است، و نقش احتمالی آن در تجزیه آفت‌کش بیشتر خواهد بود (Schoenau et al., 2005). براساس مطالعات انجام شده، رابطه مستقیمی بین سرعت تجزیه آترازین،

## مواد و روش‌ها

نمونه خاکی با بافت سنگین از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متری مزرعه‌ای در شیروان که سابقه کاربرد آترازین را نداشت انتخاب و پس از هوا خشک کردن از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و بافت آن به روش هیدرومتری مشخص شد. پس از تعیین بافت خاک با اضافه کردن ذرات شن که قبلاً از الک ۲ میلی متری عبور و توسط آب مقطر شسته شده بودند، بافت خاک با استفاده از جدول بافت خاک و به روش وزنی به لوم شنی تغییر داده شد. جمعیت باکتری‌های خاک با استفاده از روش شمارش کلنی در محیط کشت خاک محاسبه شد (Wollum, 1986). برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. علف کش آترازین با نام تجاری ایترکس<sup>۱</sup> محصول شرکت مشکفام فارس با درجه خلوص ۸۰ درصد و فرمولاسیون پودر و تابل<sup>۲</sup> از بخش تحقیقات علف‌های هرز موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور تهیه و قبل از استفاده درجه خلوص آن با روش HPLC تأیید شد (Forouzangohar et al., 2005). نمونه استاندارد شیمیایی آترازین نیز با درجه خلوص ۹۶/۲ درصد از شرکت سینجنتا تهیه شد.

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و به صورت فاکتوریل ۳×۳×۲ انجام شد که عوامل مورد بررسی شامل دو بافت خاک (رس سیلتی و لوم شنی)، ماده آلی (کود گاوی) در سه سطح (۰، ۲ و ۵ درصد وزنی) بودند. برای تهیه تیمارهای مورد نظر ۱۰۰ گرم خاک از هر دو بافت، با احتساب مواد آلی اضافه شده و با در نظر گرفتن رطوبت هوا خشک انتخاب و پس از تقسیط آن به دو قسمت مساوی بر روی صفحه‌ای پلاستیکی ریخته و یک قسمت آن به نسبت ۵۰ میلی گرم آترازین در کیلوگرم خاک خشک مخلوط شد. برای مخلوط کردن خاک، به علف کش از انحلال آترازین تجاری در متانول ۹۹/۹ درصد استفاده شد (Forouzangohar et al., 2005). پس

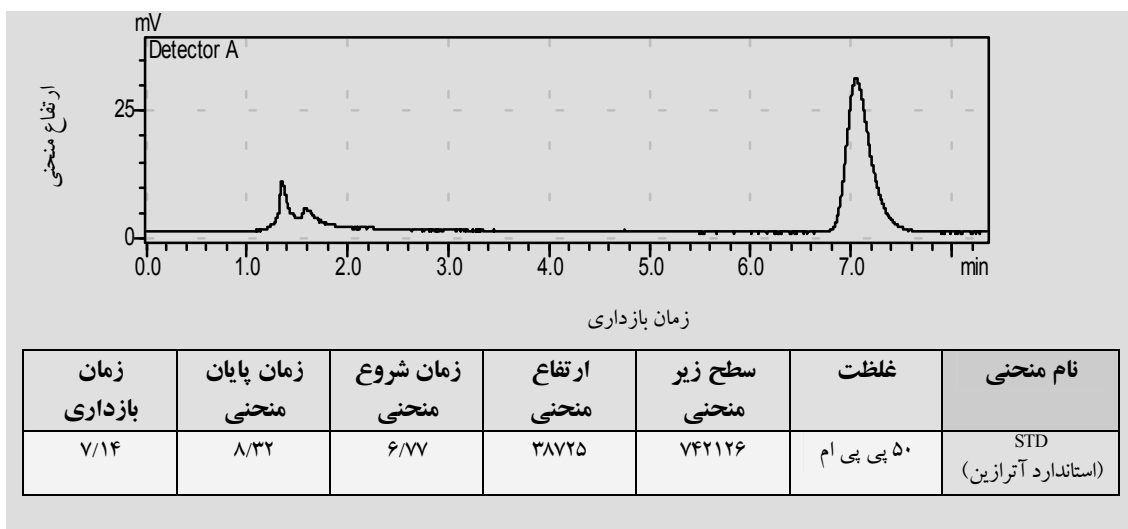
درصد رس و مواد آلی مشاهده شده است. مولر و همکاران (۲۰۰۳)، در ارزیابی روند تجزیه آترازین در نقاط مختلف مزرعه، اختلاف بافت خاک در نقاط مختلف مزرعه را از عوامل مهم در اختلاف سرعت تجزیه آترازین عنوان کرده‌اند. نامبردگان ضمن اشاره به نقش تعیین کننده بافت خاک در سرنوشت آترازین، دریافتند که تنوع در مقدار مواد آلی و بافت خاک نقاط مختلف در ارزیابی روند تجزیه آترازین نیز بی تأثیر نیست به طوری که اختلاف در محتوی مواد آلی و رس خاک نیمه عمر آن را از ۳ روز تا ۲۰ روز تغییر خواهد داد. ویلاردی و همکاران (۲۰۰۸) و فوسکالدو و همکاران (۱۹۹۹) به ترتیب در علف کش‌های 2,4-D، دایکامبا، متسولفورون متیل، فلوپیروسولفورون متیل سدیم و آترازین، متریبوزین و سیمازین به نقش مؤثر مواد آلی و رس در سرعت تجزیه علف کش‌های مذکور اشاره کردند. نامبردگان در تمام علف کش‌های مورد مطالعه رابطه مستقیمی بین محتوی رس و مواد آلی با سرعت تجزیه آفت کش‌ها گزارش کردند. با توجه به مطالعات فوق، به نظر می‌رسد، مواد آلی خاک، هم از طریق فرایندهای جذب و دفع علف کش و هم از طریق تغییر در فعالیت و جمعیت میکروبی خاک بر تجزیه زیستی آترازین مؤثر باشد. اعتقاد بر این است که تقویت جمعیت میکروبی خاک از طریق افزودن مواد آلی نقش موثری در تجزیه آترازین دارد (Briceno and Palma, 2007; Moorman et al., 2000). نظر به این که آترازین از علف کش‌های با نیمه عمر متوسط به بالا محسوب می‌شود که پتانسیل آلودگی زیست بوم خاک و منابع آب را دارد (Strek, 2005). این تحقیق با هدف امکان پالایش آترازین در خاک‌های زراعی کشور با تأکید بر نقش بافت و مواد آلی خاک انجام شد. درک عوامل فوق در مدیریت کاربرد و بقایای این علف کش در خاک مفید خواهد بود.

از یک شیکر افقی با سرعت ۲۳۰ دور در دقیقه و در دمای اتاق تکان داده شد. پس از رسوب خاک سوسپانسیون و مخلوط حاصل بوسیله کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و قبل از تزریق عصاره‌ها به دستگاه HPLC، ۵ میلی لیتر عصاره از فیلتر سرنگی ۰/۲ میکرومتری عبور داده شدند (۱۹). دستگاه HPLC از نوع Shimadzu, LC-4A با یک ستون فاز معکوس zorbax ODS(C18)  $(4/6^{mm} \times 15^{cm})$  بود. فاز متحرک مخلوط متانول: آب دیونایز با نسبت حجمی ۶۰:۴۰ بود که با شدت جریان یک میلی لیتر در دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. حجم عصاره تزریق شده به سیستم، ۵۰ میکرولیتر بود و دستگاه آشکارساز HPLC از نوع UV-VIS spectrophotometric Detector SPD-2AS بود که طول موج مورد استفاده به منظور حداکثر آشکارسازی آترازین ۲۲۰ نانومتر انتخاب شد. دمای تزریق به ستون نیز همان دمای اتاق بود که و حد تشخیص یک پی پی ام بود (Forouzangohar et al., 2005).

قبل از تزریق نمونه‌های مجهول به دستگاه، محلول‌های استاندارد تهیه و پس از تزریق به دستگاه، محل ظهور پیک آترازین مشخص شد. شکل ۱ محل و زمان بازداری منحنی استاندارد آترازین را نشان می‌دهد.

از اختلاط کامل علف کش با خاک، دو قسمت خاک با هم مخلوط و در ظروف پلاستیکی یک بار مصرف قرار داده شدند. برای این منظور محلول آترازین با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم آترازین خالص (۱۲۵۰ میلی گرم آترازین تجاری) در یک لیتر محلول تهیه و پنج میلی لیتر از محلول مذکور توسط پیپت سرنگی بر روی خاک ریخته شد. پس از تبخیر کامل متانول در شرایط دمایی آزمایشگاه کاملاً با خاک مخلوط شد. بدین ترتیب آترازین با غلظت ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم به خاک اضافه شد. ظروف پلاستیکی محتوی خاک‌های تیمار شده در داخل انکوباتور در شرایط تاریکی و دمای ۳۰ درجه سانتی گراد (۲)، با دقت (±۱) و در ۴ دوره نگهداری ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز قرار داده شدند و در طول آزمایش با استفاده از آب مقطر دو بار تقطیر شده، رطوبت خاک‌ها در حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی حفظ شد. در انتهای هر دوره زمانی تیمارهای مورد نظر از انکوباتور خارج و تا زمان استخراج علف کش در داخل فریزر در دمای ۲۶°C- درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

برای استخراج باقی مانده علف کش، ۵۰ گرم از خاک مورد نظر توزین و در داخل ارلن ۲۵۰ میلی لیتر ریخته و پس از اضافه کردن ۱۰۰ میلی لیتر محلول متانول: آب خالص به نسبت ۷۰:۳۰ به مدت دو ساعت با استفاده



شکل ۱- ویژگی‌ها و محل ظهور منحنی استاندارد آترازین

$$HT = \frac{\ln(2)}{K} = \frac{0.693}{K} \quad (\text{معادله ۲})$$

که در آن  $HT$  نیمه عمر و  $k$  ضریب تجزیه آتراین در معادله (۱) می‌باشند.

از معادله ۳ نیز به منظور بررسی اختلاف معنی‌داری خطوط برازش شده استفاده شد.

$$\tau = \frac{b_2 - b_1}{\sqrt{S^2 b_1 + S^2 b_2}} \quad (\text{معادله ۳})$$

که در آن،  $b_1$ ،  $b_2$  شیب خطوط برازش شده،  $S^2 b_1$  و  $S^2 b_2$  انحراف معیار ضرایب، هستند.

پس از حصول داده‌های آزمایش تحلیل نتایج با استفاده از آنالیز رگرسیون توسط نرم افزار Sigmaplot ver,10 انجام و برای این منظور داده‌های حاصل به معادله سینتیکی درجه اول (معادله ۱) برازش داده شدند.

$$C(t) = C_0 e^{-kt} \quad (\text{معادله ۱})$$

که در آن  $C(t)$  غلظت ماده در زمان  $t$ ،  $C_0$  غلظت اولیه ماده،  $k$  ضریب تجزیه آتراین (میلی گرم در روز) و  $t$  زمان (روز) است. نیمه عمر آتراین با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Tasli et al., 1996).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

کود آلی	خاک رس سیلتی	خاک لوم شنی	خصوصیات
-	۱۲	۶۰/۴	درصد شن
-	۴۶	۳۱/۳	درصد سیلت
-	۴۲	۸/۳	درصد رس
-	۸/۰۶	۸/۰۵	pH کل اشباع
-	۳/۶۲	۲/۸	EC عصاره اشباع (dSm <sup>-1</sup> )
۲۹/۴۲	۰/۸۴	۰/۵۳	درصد کربن آلی
۱/۹۵	۰/۰۹۸	۰/۰۶	درصد نیتروژن کل
۱۵/۰۸	۸/۵۷	۸/۸۳	نسبت کربن به نیتروژن
-	۴۰	۲۴/۳۵	درصد اشباع
-	۱۶/۳	۷/۷	درصد رطوبت ظرفیت زراعی
-	۲/۳۳۵×۱۰ <sup>۶</sup>	۱/۷۹۵×۱۰ <sup>۶</sup>	جمعیت باکتریها (تعداد در گرم خاک)

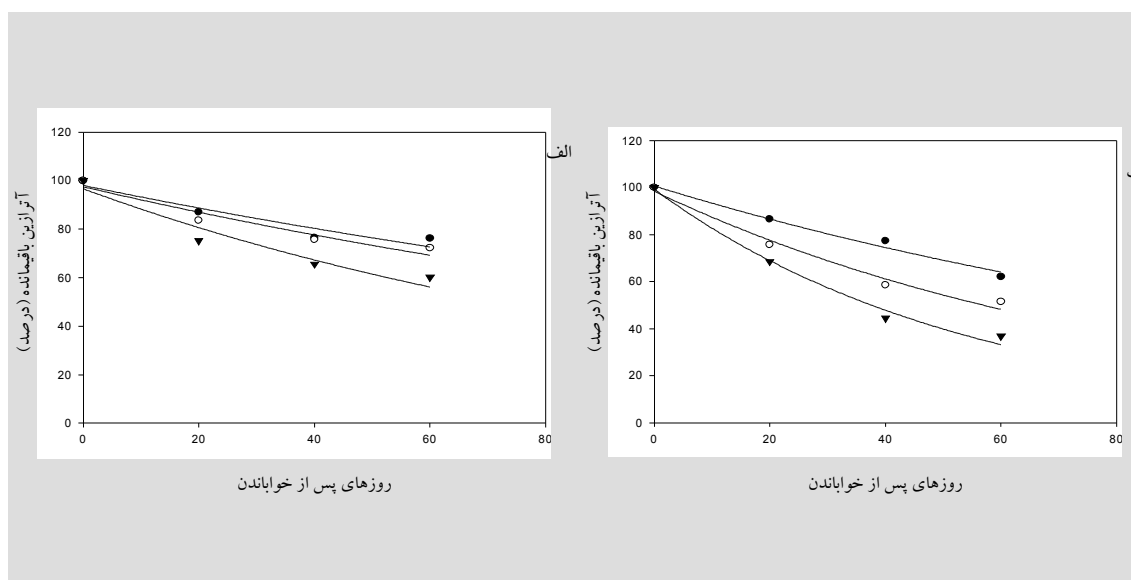
## نتایج و بحث

و (Bentein and Devillers, 1996; Forouzangohar *et al.*, 2005)

روش‌های اضافی به کار برده شده مثل سانتیفریوز (Ebeto and koyo, 2005) باشد. گاه و همکاران (۱۹۹۱)، کارایی استخراج آترازین با روش مذکور را از ۹۰ تا ۱۰۶ درصد گزارش کرده‌اند (Goh *et al.*, 1991).

نتایج نشان دادند که بافت خاک تأثیر معنی‌داری بر سرعت تجزیه آترازین داشت. به طوری که ضریب تجزیه آترازین ( $k$ ) در خاک رس سیلتی، در شرایط عدم کاربرد کود آلی ۱/۵۴ برابر خاک لوم شنی بود. (جدول ۲) و درصد باقیمانده آترازین، در خاک رس سیلتی، کمتر از خاک لوم شنی بود (شکل ۲). براساس نتایج آزمایش، ۲۰ تا ۴۰ روز پس از خواباندن نمونه‌ها در انکوباتور، باقی‌مانده آترازین در دو خاک اختلافی نداشتند. اما پس از ۴۰ روز، روند تجزیه آترازین در خاک رس سیلتی سریع‌تر از خاک لوم شنی بود، به طوری که در ۶۰ روز پس از خواباندن، باقی‌مانده آن در خاک رس سیلتی، ۱۴ درصد کمتر از خاک لوم شنی بود (شکل ۲).

براساس نتایج حاصل از آزمایش، اختلاف معنی‌داری کارایی استخراج آترازین در دو بافت خاک و همچنین در سطوح مختلف مواد آلی اختلافی وجود نداشت. به طوری که در دو خاک رس سیلتی و لوم شنی و در سطوح مختلف ۰، ۲ و ۵ درصد کود آلی کارایی استخراج آترازین به ترتیب ۷۶/۹۳، ۷۶/۴، ۷۶/۷۷ و ۷۶/۹۹، ۱۳/۶۱، ۷۶/۷۷ درصد بود، که در مقایسه با نتایج مولر و همکاران (۲۰۰۳) (۹۱ درصد) اختلاف دارند. در این ارتباط محققین استفاده از محلول متانول در آب را روش مفید و قابل قبولی برای استخراج آترازین از محیط خاک می‌دانند (Briceno and Palma, 2007; Cupples *et al.*, 2000; ) Forouzangohar *et al.*, 2005; Goh *et al.*, 1991; Mueller *et al.*, 2003) و در مطالعات مربوط به ماندگاری آترازین در خاک به عنوان یک روش پذیرفته به کار می‌رود. احتمال دارد اختلاف در نتایج حاصل به دلیل شرایط مختلف حاکم بر آزمایش، مثل درجه حرارت در زمان استخراج (Goh *et al.*, 1991; Mueller *et al.*, 2003; ) (Briceno and Palma, 2007)، نسبت محلول متانول و آب



شکل ۲- تجزیه آترازین در خاک لوم شنی (الف) و رس سیلتی (ب) در سطوح مختلف صفر (○) دو (○) و پنج (▼) درصد مواد آلی

جدول ۲- پارامترهای برآورد شده توسط مدل نمایی درجه اول و طول عمر آتزازین در تیماری‌های مختلف

R <sup>2</sup>	سطح احتمال	DT50 (روز)	C <sub>0</sub> (درصد)	K (میلی گرم در کیلوگرم در روز)	مواد آلی (درصد)	بافت خاک
۰/۹۱	۰/۰۴۵	۱۳۸/۶۰	۹۷/۹۹(۳/۵۸)	۰/۰۰۵۰(۰/۰۰۱۱) <sup>x</sup>	۰	لوم شنی
۰/۹۳	۰/۰۳۳	۱۲۱/۵۷	۹۷/۴۳(۳/۴۲)	۰/۰۰۵۷(۰/۰۰۱۱)	۲	
۰/۹۳	۰/۰۳۲	۷۷/۰۰	۹۶/۵۹(۴/۸۶)	۰/۰۰۹(۰/۰۰۱۷)	۵	
۰/۹۸	۰/۰۲۹	۹۰/۰۰	۱۰۰/۶۲(۲/۲۱)	۰/۰۰۷۷(۰/۰۰۰۷)	۰	رس سیلتی
۰/۹۸	۰/۰۰۹	۵۸/۲۳	۹۸/۴۲(۳/۱۲)	۰/۰۱۱۹(۰/۰۰۱۱)	۲	
۰/۹۸	۰/۰۰۵	۳۸/۰۰	۹۹/۲۵(۳/۲۸)	۰/۰۱۸۲(۰/۰۰۱۴)	۵	

x انحراف معیار

جدول ۳- مقادیر t و مقایسات خطوط برازش داده شده در تیمارهای مختلف

S <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> O <sub>1</sub>	S <sub>2</sub> O <sub>0</sub>	S <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> O <sub>1</sub>	تیمار
۳/۹۰*	۱۱/۹۵**	۱۷/۰۷**	۲۱/۸۴**	۱۴/۱۵**	S <sub>1</sub> O <sub>0</sub>
۶/۸۹**	۲۰/۲۲**	۲۲/۸۷**	۱۱/۵۶**		S <sub>1</sub> O <sub>1</sub>
۱۶/۲۶**	۵/۱۳**	۲۷/۲۶**			S <sub>1</sub> O <sub>2</sub>
۱۱/۸۴**	۳/۹۷*				S <sub>2</sub> O <sub>0</sub>
۹/۶۹**					S <sub>2</sub> O <sub>1</sub>

s<sub>1</sub> خاک بافت سنگین و s<sub>2</sub> خاک بافت سبک

O<sub>2</sub>، O<sub>1</sub>، O<sub>0</sub> بترتیب مواد آلی در سطح ۰، ۲ و ۵ درصد.

x، xx و ns بترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری

شرایط مزرعه‌ای دریافتند که ماندگاری آن در خاک رابطه مستقیمی با مقدار رس داشت به طوری که با افزایش مقدار رس خاک، ماندگاری این علف‌کش از ۵ تا ۳۳ ماه تغییر می‌کند (Halloway et al., 2006). حال این که فروزان گوهر و همکاران (۲۰۰۵)، در مطالعه خود، مشاهده کردند که در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی در خاک بافت سنگین سرعت تجزیه آتزازین بیشتر و نیمه عمر آن کمتر است (Forouzangohar et al., 2005). اختلاف در نتایج فوق را علاوه بر تفاوت در ویژگی‌های

منابع مختلف بافت خاک را از عوامل مهم و تأثیرگذار بر ماندگاری آفت‌کش‌ها در خاک می‌دانند (et al., 2000; Halloway et al., 2006; Mueller et al., ) (Cupples 2003; Schoenau et al., 2005) که با تأثیر بر جذب و تجزیه آفت‌کش‌ها، ماندگاری آنها را متأثر می‌سازند. تأثیر بافت خاک بر تجزیه آفت‌کش‌ها بسته به نوع آفت‌کش تفاوت دارد، و توجه به این مهم در مدیریت کاربرد آنها مفید است. هالاولی و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی ماندگاری علف‌کش ایمازاتاپیر در

فیزیکوشیمیایی علف کش ها، می توان به شرایط انجام آزمایش نیز نسبت داد (Buelk et al., 2005; Ebeto and koyo, 2005). در شرایط مزرعه ای، آبتشویی آفت کش که از مهم ترین فرایندهای تعیین کننده سرنوشت آن به شمار می رود، نقش مهمی در تعیین و پیش بینی بقایای آفت کش در لایه سطحی خاک دارد. این مهم به ویژه در خاک های بافت سبک که قابلیت آبتشویی بالاتری دارند، نمود بیشتری دارد. لذا احتمال می رود در شرایط مزرعه در خاک های بافت سبک، بقایای آترازین در لایه سطحی کمتر از خاک بافت سنگین باشد. آترازین از علف کش هایی است که قابلیت آبتشویی بالایی دارد و در شرایط مزرعه بخشی از آن از لایه سطحی خاک شسته شده و از دسترس تجزیه شیمیایی و زیستی خارج می شود (Tasli et al., 1996). از این رو در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی با حذف این عامل به طور دقیق تری نقش تجزیه شیمیایی و زیستی بافت خاک در ماندگاری آفت کش ارزیابی می شود. از یک سو در خاک های سنگین به دلیل افزایش درصد رس، جذب سطحی آفت کش ها بیشتر خواهد شد، که این مسأله در کاهش آبتشویی آفت کش و آلودگی منابع زیرزمینی موثر است، ولی دسترسی ریز موجودات را برای تجزیه آن کاهش می دهد. از سوی دیگر افزایش درصد رس تجزیه شیمیایی (هیدرولیز) آفت کش را افزایش می دهد (Itoh et al., 2003; Streck, 2005) و با توجه به این که خاک های سنگین از ظرفیت نگهداری آب بالاتری برخوردار هستند وجود این ویژگی نیز می تواند نقش تجزیه هیدرولیزی آفت کش را در این خاک ها افزایش دهد (Streck, 2005) با در نظر گرفتن این مسأله و با توجه به روند تجزیه آترازین در دو بافت خاک (شکل ۲) و ضریب تجزیه آن در خاک های مذکور (جدول ۲)، به نظر می رسد افزایش درصد رس در خاک های بافت سنگین، احتمالاً از طریق واکنش هیدرولیز، ماندگاری این علف کش را در این خاک کاهش داده است. به طوری که نیمه عمر آترازین در

خاک رس سیلتی (۹۰ روز) اختلاف قابل ملاحظه ای با خاک لوم شنی (۱۳۸/۶ روز) دارد. در آفت کش های قطبی مثل آترازین افزایش درصد رس، می تواند نقش مهمی در جذب و ماندگاری آنها از طریق واکنش های هیدرولیزی داشته باشد. برای مثال، ابتو و همکاران (۲۰۰۵) در ارزیابی تجزیه دو علف کش آترازین و لینوران، مشاهده کردند، که لینوران قطبی تر از آترازین است و این مسأله باعث جذب بیشتر آن توسط ذرات رس و افزایش نقش واکنش هیدرولیز در تجزیه این علف کش می شود (Ebeto and koyo, 2005). از سوی دیگر مطالعات نشان داده اند که تجزیه زیستی از مهم ترین عوامل تجزیه آترازین است (Corriea et al., 2007; Popov et al., 2005). با توجه به این مهم، به نظر می رسد بافت خاک احتمالاً از طریق تأثیر بر جمعیت میکروبی نیز در روند تجزیه آترازین نقش داشته باشد و این مسأله در خاک های مورد مطالعه نیز مشهود است (جدول ۱). گزارش شده است، تجزیه آترازین در خاک سترون شده کمتر از خاک سترون نشده است که این مسأله اهمیت تجزیه زیستی را در سرنوشت آترازین در خاک نشان می دهد (Ranjbar, 2005). همچنین، مشاهده شده است که آترازین در خاک سطحی (Corriea et al., 2007) و در زمین هایی که سابقه کشت و کار دارند (Popov et al., 2005)، نیمه عمر کمتری دارد. از آنجایی که جمعیت میکروبی در لایه سطحی خاک مزارع کشاورزی به دلیل کشت و کار، غنی است، احتمالاً تجزیه زیستی نقش مهمی در این راستا دارد و با توجه به نتایج آزمایش خاکشناسی به نظر می رسد جمعیت بیشتر باکتری ها و فعالیت آنها در خاک رس سیلتی نیز در این مسأله دخیل باشد. بر اساس نتایج آزمایش افزودن مواد آلی در هر دو بافت خاک اثر معنی داری بر تجزیه آترازین داشت و این تأثیر در خاک رس سیلتی بیشتر از خاک لوم شنی بود (شکل ۲ و جدول ۲). به طوری که افزودن ۲ درصد و ۵



درصد کود آلی در خاک لوم شنی ضریب تجزیه آترازین را به ترتیب ۱/۱۴ و ۱/۸ برابر و در خاک رس سیلتی، ۱/۵۴ و ۲/۳۶ برابر افزایش، و نیمه عمر آن را در خاک لوم شنی از ۱۳۸/۶ به ۱۲۱/۵۷ و ۷۷ روز و در خاک رس سیلتی از ۹۰ روز به ۵۸/۲۲ و ۳۸ روز کاهش داد. از آنجا که در ترکیباتی مانند آترازین که ساختار مولکولی آنها حاوی عناصر کربن و نیتروژن است، این مواد در متابولیسم زیستی آنها به عنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Briceno and Palma, 2007). به نظر می‌رسد افزودن کود آلی از طریق افزایش زیست توده میکروبی و فعالیت آنها در تجزیه آترازین نقش داشته باشد. اعتقاد بر این است که با تقویت جمعیت میکروبی خاک از طریق فراهم کردن مواد غذایی و ایجاد بستر مطلوب رشد و نمو آنها، مثلاً با افزودن مواد آلی پالاینده‌ای مانند کود آلی به خاک، از طریق تقویت بیوماس میکروبی، می‌توان سرعت تجزیه آفت‌کش‌ها در خاک را افزایش داد (Briceno and Palma, 2007; Forouzangohar et al., 2005; Kadian et al., 2007). نتایج این آزمایش نیز ضمن حمایت از این مهم نشان می‌دهند که در خاک رس سیلتی افزودن مواد آلی در تجزیه آترازین تأثیر بیشتری از خاک لوم شنی دارد. به نظر می‌رسد دلیل این مهم، بیشتر بودن جمعیت اولیه باکتری‌ها در خاک بافت سنگین باشد (جدول ۱). سایر محققین نیز ضمن اشاره به اهمیت تجزیه زیستی آترازین، استفاده از افزایش‌دهنده‌های پالاینده خاک مثل مواد آلی را، آسانترین و مقرون به صرفه‌ترین راه حذف این آلاینده‌ها از خاک می‌دانند. کادین و همکاران (۲۰۰۷) با افزایش کود آلی، کمپوست قارچ و پساب به خاک آلوده شده با آترازین، دریافتند که این مواد پتانسیل تجزیه آترازین را از طریق تحریک ریز جانداران تجزیه کننده دارند. به طوری که درصد تجزیه آن نسبت به شاهد در سه تیمار مذکور به ترتیب ۲۲/۰۷، ۲۹/۷ و ۳۴/۱۷ درصد بود (Kadian et al., 2007). پاپو و همکاران (2005) نیز با اشاره به اهمیت تجزیه زیستی آترازین دریافتند که

سرعت تجزیه آترازین در خاک‌های زراعی به مراتب بیشتر از خاک‌های غیر زراعی است. نامبردگان جمعیت و فعالیت میکروبی بیشتر این خاک‌ها را مهم‌ترین عامل در این راستا ذکر کردند (Popov et al., 2005). روبرت و همکاران (2006)، نیز با بررسی روند تجزیه آترازین در لایه‌های مختلف خاک، مشاهده کردند، که بیشترین سرعت تجزیه آترازین در لایه‌های سطحی که غنی از ریز جانداران هستند، مشاهده شد، و بین سرعت تجزیه و جمعیت میکروبی خاک رابطه مستقیمی وجود داشت (Robert et al., 2006). با این حال گزارش‌هایی وجود دارند که کاربرد مواد آلی در خاک منجر به افزایش پایداری آفت‌کش‌ها می‌شود. برای مثال در مطالعه گو و همکاران (2003) در خاک‌های با مواد آلی بیشتر آترازین، سیانازین و دایکامبا سرعت تجزیه کمتری داشتند. این مسأله می‌تواند به دلیل افزایش جذب آفت‌کش‌های مذکور توسط مواد آلی در لایه سطحی خاک و مانع از آبشویی آنها باشد.

گزارش شده است که بالا بودن سرعت تجزیه آترازین باعث کاهش کنترل گونه‌ای علف هرز نیلوفر پیچ<sup>۱</sup> در مزارع چغندر قند لویزیانا شد، به طوری که در ابتدا گمان می‌رفت بیوتیپ مذکور به آترازین مقاوم شده باشد (Viator et al., 2002). به طور کلی با توجه به نتایج این آزمایش مواد آلی با تأثیر بر فعالیت میکروبی خاک، روند تجزیه آترازین را تسریع، و نیمه عمر آن را به شدت کاهش داده است. در مجموع نتایج این آزمایش ضمن اشاره به اهمیت نقش بافت و مواد آلی خاک بر ماندگاری آترازین نشان می‌دهند که توجه به ویژگی‌های مذکور خاک در مدیریت کاربرد این علف‌کش نقش مهمی دارند. به نظر می‌رسد، استفاده از مواد آلی در جهت پالایش آترازین در خاک و کاهش خسارت به محصولات زراعی حساسی که در تناوب قرار می‌گیرند موثر است. از سوی دیگر اگر چه مواد آلی روند تجزیه آترازین را در خاک تسریع می‌کنند. اما این مسأله به دلیل

- degradation of cloransulam-methyl. *J. Environ. Qual.* 29:786-794.
- Ebeto, M., and Y. Koyo (2005). Methods for estimating competitive adsorption of herbicides on soils. *J. Pest. Sci.* 30:220-224.
- Forouzangohar, M., G. H. Hagnia, and A. Koocheki (2005). Organic amendment to enhance atrazine and metamitron degradation in two contaminated soils with contrasting textures. *Soil Sci. Cont.* 14:245-355.
- Fuscaldo, F., F. Bedmar, and G. Monterubbianesi (1999). Persistence of atrazine, metribuzin and simazine herbicides in two soils. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34: 2037-2044.
- Goh, K. S., J. Hernandez, J. Powell, C. Garretson, J. Troiano, M. Ray, and C. D. Greene (1991). Enzyme immunoassay for the determination of atrazine residues in soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 46:30-36.
- Gu, J. D., Y. Fan, J. D. Gu (2003). Biodegradability of atrazine, cyanazine and dicamba under methanogenic condition in three soils of China. *Chemosphere*, 52:1515-1521.
- Halloway, K. L., R. S. Kookana, D. M. Noy, J. G. Smith, and N. Wilhelm (2006). Persistence and leaching of imazethapyr and flumetsulam herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. *Aus. J. Exp. Agric.*, 46: 669-674.
- Itoh, K., T. Ikushima, K. Suyama, and H. Yamamoto (2003). Evaluation of pesticide effects on microbial communities in a paddy soil comparing with that caused by soil flooding. *J. Pestic. Sci.* 28:51-54.
- Jettner, R. J., S. R. Walker, J. D. Churchett, F. P. C. Blamey, S. W. Adkins, and K. Bell (1999). Plant کاهش بقایای آن، توانایی کنترل علف‌های هرزی را که به طور متناوب سبز می‌شوند، را کاهش می‌دهد. با توجه به این مهم، بررسی روند تغییرات تجزیه آفت‌کش‌ها در خاک‌ها علاوه بر موارد مذکور در مطالعات مربوط به مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها مهم بوده و در مدیریت کاربرد آنها نیز کارا خواهد بود. با توجه به این که تعمیم نتایج آزمایشگاهی به مزرعه‌ای مشکل است، پیشنهاد می‌شود آزمایش‌های تکمیلی در مزرعه و در شرایط کنترل شده در جهت بررسی ماندگاری آترازین در خاک، تأثیر پالاینده‌های آلی بر تجزیه آن و نیز کارایی آن در کنترل علف‌های هرزی که به طور متناوب سبز می‌شوند و نیز گیاهان زراعی موجود در تناوب انجام گیرد.
- پی‌نوشت‌ها**
- 1- Aaterax
  - 2- Wettable Powder
  - 3- *Ipomea coccinea*
- منابع**
- Bentein, S., and J. Devillers (1996). Evaluating the environmental fate of atrazine in France. *Chemosphere*, 32: 2441-2456.
- Briceno, G., and G. Palma (2007). Influence of organic amendment of the biodegradation and movement of pesticides. *Critic. Rev. Environ. Sci. and Tech.* 37: 233-271.
- Buelk, S., W. B. Vendy, D. B. Colin, M. Matthew, and W. Allan (2005). Evaluation of simplifying assumption on pesticide degradation in soil. *J. Environ. Qual.* 34:1933-1943.
- Corriera, F. V., A. Macrae, L. R. G. Guilherme and T. Langenbach (2007). Atrazine sorption and fate in a ultisol from humid tropical Brazil. *Chemosphere*. 67: 847-854.
- Cupples, A. M., G. K. Sims, R. P. Hultgren, and S. E. Hart (2000). Effect of soil conditions on the

- degradation in soil. M.Sc. thesis in soil science.*  
Ferdowsi University of Mashhad.
- Robert, M. Z., R., M. A. Weaver, and L. A. Martin (2006). Microbial adaptation for accelerated atrazine mineralization/degradation in Mississippi Delta soils. *Weed Sci*, 54:538-547.
- Schoenau, J. J., A. M. Szmigielski, and R. C. Eliason (2005). The effect of landscape position on residual herbicide activity in prairie soils. Pages 42-52 in R. C. Van Acker, ed. Soil residual herbicides: Science and Management. Topics in Canadian weed science, volume 3. Sainte Anne-de Bellevue, Quebec.
- Shaner, D. L., and W. B. Henry (2007). Field history and dissipation of atrazine and metolachlor in Colorado. *J. Environ. Qual.* 36:128-134.
- Shelton, D. R., and J. S. Karns (1998). Pesticide bioremediation: Genetic and ecological considerations. In: Kearny, P. C., and T. Roberts. Pesticide remediation in soils and water. John Wiley and Sons. NY. pp.181-216
- Strek, H. J. (2005). The Science of Dupont's soil residual herbicides in Canada. Pages 31-44 in R. C. Van Acker, ed. Soil residual herbicides: Science and Management. Topics in Canadian weed science, volume 3. Sainte Anne-de Bellevue, Quebec.
- Tasli, S., L. Patty, H. Boetti, P. Ravanel, G. Vachaud, C. Schreff, J. Favre-Bonvin, M. Kaudji, and M. Tissut (1996). Persistence and leaching of atrazine in corn culture in the experimental site of La Cote Saint Andre (Isere, France). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 30:203-212.
- Theng, B. K. G., R. S. Kookana, and A. Rahman (2000). *Environmental concerns of pesticides in sensitivity to atrazine and chlorsulfuron residues in a soil free system. Weed Res.*, 39:287-295.
- Kadian, N., A. Gupta, S. Satya, R. Kumari Mehta, and A. Malik (2007). Biodegradation of herbicide (atrazine) in contaminated soil using various bioprocessed materials. *Bioresour Technology*. 99: 4642-4647.
- Konda, L. N., and Z. Pasztor (2001). Environmental distribution of acetochlor, atrazine, chlorpyrifos and propischlor under field conditions. *J. Agric. Food Chem.*, 49:3859-3863.
- Mbuya, O. S., P. Nkedi-Kizza, and K. J. Boot (2001). Fate of atrazine in sandy soil cropped with sorghum. *J. Environ. Qual.* 30: 71-77.
- Moorman, T. B., J. K. Cowan, E. L. Arthur, and J. R. Coats (2000). Organic amendment to enhance herbicide biodegradation in contaminated soil. *Biol. Fertil. Soils*, 33: 541-545.
- Mueller, K., R. E. Smith, T. K. James, P. T. Holland, and A. Rahman (2003). Prediction of field atrazine persistence in an allophonic soil with Opuse2. *Pest. Manag. Sci.* 60: 447-458.
- Mueller, K., R. E. Smith, T. K. James, P. T. Holland, and A. Rahman (2003). Spatial variability of atrazine dissipation in an allophonic soil. *Pest. Manag. Sci.* 59: 893-903.
- Popov, V. H., P. S. Cornish, K. Sultana, and E. C. Morris (2005). Atrazine degradation in soils: the role of microbial communities, atrazine application history, and soil carbon. *Aus. J. Exp. Agric.* 43: 861-871.
- Ranjbar, E. (2005). *Effect of organic and inorganic nitrogen in atrazine microbial and chemical*

*soil and groundwater and management strategies in Oceania* In: Huang P. M., and I. K. Iskandar. *Soil and groundwater pollution and remediation*. CRC Press. Boca Raton. Florida.

Viator, B. J., J. L. Griffin, and E. P. Richard (2002). Evaluation of red morningglory (*Ipomoea coccinea*) for potential atrazine resistance. *Weed Tech.* 16:96-101.

Villaverde, J., M. Kah, and C. D. Brown (2008). Adsorption and desorption of four acidic herbicides in soils from southern Spain. *Pest Management Science.* 64: 703–710.

Wollum, A. G. (1986). *Cultural methods for soil microorganisms*. In: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 781–802 (Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney D.R., Eds.). Madison, ASA-SSSA.

Zand, E., M. A. Baghestani, P. Shimi, S. A. Faghieh (2002). *Analysis of Herbicides management in Iran*. Tehran: Department of weed Research, plant protection Research Institute.

