

## The Effect of Soil Depth and Canopy of Three Date Palms on Release of Copper from a Calcareous Soil

AVA MOHRAZI<sup>1</sup>, REZA GHASEMI<sup>1\*</sup>

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.  
(Received: Oct. 29, 2019- Revised: Dec. 24, 2019- Accepted: Sep. 22, 2020)

### ABSTRACT

Copper is an essential micronutrient to plants, which its deficiency is common in calcareous soil. Most of the soils are calcareous in Iran, therefore farmers and gardeners may observe the deficiency of this element during the growing season. Given the importance of copper in the nutrition of date trees, especially in calcareous soils, a better understanding of the mechanism and kinetics of copper release from the soil can provide useful information about the factors affecting the bioavailability of this element. Therefore, this study was conducted to investigate the influence of depth and canopy of three palm cultivars on kinetics release of copper. For this purpose, soil samples were collected from three depths of 0-20, 20-40 and 60-40 cm and two locations (under canopy and outside the canopy) with three replications, for three cultivars of date palms; Shahani, Ghasab and Halvan. Extraction was performed in eight different time periods with ammonium bicarbonate Diethylene Triamine Penta acetic acid (AB-DTPA). Results showed that the power function, simple Elovich, and parabolic diffusion were the best fitted models for describing Cu release. The pattern of copper release was fast during the first two hour and decreased at subsequent time. The results of this study indicating the positive effect of date palm canopy on the availability and rate of copper release from calcareous soils. So that the rate of copper release related to the depth of 40-60 cm of the soils under the canopy was higher than the one in the same depth outside the canopy, which can be attributed to root exudations and pH reduction. Among the three cultivars studied in this research, Shahani cultivar had the highest amount of copper release.

**Keywords:** Release Kinetics, Copper, Depth, Canopy.

---

\* Corresponding Author's Email: [ghasemif@shirazu.ac.ir](mailto:ghasemif@shirazu.ac.ir)

## اثر عمق خاک و سایه‌انداز سه رقم نخل بر سینتیک آزادسازی مس در خاک آهکی

آوا محرزى<sup>۱</sup>، رضا قاسمى\*

۱. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۱

### چکیده

مس از جمله عناصر ضروری اما کم مصرف برای گیاهان می‌باشد که کمبود آن در خاک‌های آهکی معمول است. از آنجایی که بخش اعظمی از خاک‌های ایران آهکی می‌باشند، ممکن است کشاورزان و باغداران در طول فصل کشت، با کمبود این عنصر مواجه شوند. با توجه به اهمیت مس در تغذیه درختان خرما، به ویژه در خاک‌های آهکی، درک بهتر مکانیسم و سینتیک آزادسازی مس از خاک می‌تواند اطلاعات مفیدی را در مورد عوامل موثر بر فراهمی زیستی این عنصر ارائه دهد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر عمق و سایه‌انداز سه رقم نخل خرما بر سینتیک آزادسازی مس از خاک‌های تحت کشت درخت نخل خرما انجام شد. بدین منظور از سه عمق ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری دو مکان سایه‌انداز و خارج از سایه‌انداز سه رقم درخت نخل شاهانی، قصب و حلوان مقداری خاک جمع‌آوری گردید. عصاره‌گیری در هشت دوره زمانی به کمک عصاره‌گیر AB-DTPA انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سه معادله تابع توانی، الوویچ ساده و انتشار سهموی بهترین معادلات توصیف کننده آزادسازی مس بودند. روند آزادسازی مس ابتدا تا زمان دو ساعت سریع و بعد از آن کاهش یافت و شیب ثابتی را طی کرد. نتایج این تحقیق حاکی از تاثیر مثبت سایه‌انداز درختان نخل بر قابلیت دسترسی و سرعت آزادسازی مس از خاک‌های آهکی بود به گونه‌ای که سرعت آزادسازی مس مربوط به عمق ۶۰-۴۰ سانتی‌متری خاک‌های زیر سایه‌انداز نسبت به همین عمق در خارج از سایه‌انداز بیشتر بود که علت آن را می‌توان ترشحات ریشه و کاهش پهاش دانست. از بین سه رقم مس مورد استفاده در این پژوهش خاک تحت کشت رقم شاهانی بیشترین میزان رهاسازی مس را داشت.

واژه‌های کلیدی: سینتیک آزادسازی، مس، عمق، پوشش گیاهی.

### مقدمه

معمولاً کمبود عناصر غذایی کم مصرف از جمله مس در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک دیده می‌شود. بسیاری از خاک‌های ایران آهکی و دچار کمبود عناصر غذایی کم مصرف هستند (Ziaeiian et al., 2001). تثبیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی به دلیل بالاتر بودن pH اتفاق می‌افتد که این پدیده باعث کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Ghoharghani, 2015). به دنبال افزایش پهاش رسوب مس به صورت کربنات-های نامحلول و هیدروکسیدها افزایش می‌یابد و فراهمی عناصر غذایی کاهش می‌یابد (Smith, 1994).

مس (Cu) یک عنصر ضروری کم مصرف برای گیاه است (Niazi et al., 2015) و نقش مهمی در فرایندهای بیولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و فرایند های تنفسی ایفا می‌کند (Yruela, 2005). کمبود عنصر مس در خاک‌های آهکی و خاک-های شنی عمومیت بالایی دارد. در گزارش‌ها بیان گردیده است که حدود ۱۳/۳ درصد از خاک‌های زیر کشت در ایران مقدار

مس قابل استفاده کمتر از ۰/۷۵ میلی گرم در کیلوگرم دارند (Tehrani et al., 2012). غلظت طبیعی مس درون بافت گیاهان بین ۵-۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Ballabio et al., 2018). مس از طرق گوناگونی از جمله کاربرد کودهای ریز مغذی و آفت کش‌ها وارد زمین های کشاورزی می‌شود (Elbana and selim, 2019). گزارش شده است که مس از طریق فرایند-های مختلفی از جمله جذب در خاک نگهداری می‌شود از طرفی کربنات‌ها با بافری کردن پهاش خاک، مس را به طور موثری بی تحرک و غیر پویا می‌کنند (Dudley et al., 1991). این عنصر (مس) در خاک به وسیله مواد مختلفی از جمله رس‌ها کربنات‌ها، مواد آلی، فیلوسیلیکات‌ها یون‌های هیدراته، آلومینیوم و اکسید-های منگنز جذب می‌شود (Chien and Barinza et al., 2018). فرایند جذب و واجذب مس از جمله پدیده‌های مهمی در خاک است که فراهمی این عنصر را در خاک برای گیاه کنترل می‌کند (Elbana and Selim, 2019). به طور کلی سه فرایند در قابلیت فراهمی فلزات در خاک مهم هستند این فرایندها

ارتفاع ۱۰۳۶ متر از سطح دریا) واقع در استان فارس تهیه گردید. این خاک‌ها از سه عمق (۲۰-۰ سانتی متر)، (۴۰-۲۰ سانتی متر) و (۶۰-۴۰ سانتی متر) (طول ریشه های نخل از سطح زمین تا عمق ۲۵ سانتی متری و حتی عمیق تر (۶ متری) وجود دارد، (بیشتر حجم ریشه ۸۵ درصد) تا عمق ۲ متری خاک دیده می‌شود (Munier, 1955) به طور کلی ریشه درخت نخل خرما به چهار ناحیه تقسیم می‌شود، ناحیه اول که به آن ناحیه ریشه تنفسی (هدف در این آزمایش بررسی همین ناحیه بوده است) نیز گویند از سطح تا نزدیک ۲۰ تا ۲۵ سانتی متر نیز می‌باشد که گاهی تا عمق ۵۰ سانتیمتری هم دیده می‌شود. در این منطقه به طور عمده ریشه‌های اولیه و ثانویه وجود دارد (Oihabi, 1991)) و از دو قسمت سایه‌انداز و خارج از سایه‌انداز سه رقم درخت نخل شاهانی، قصب و حلوان جمع آوری گردید. علت انتخاب این اعماق وجود ریشه‌های تنفسی در این ناحیه می‌باشد پس از هواخشک کردن، خاک‌ها از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه از قبیل بافت به روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962) ماده آلی به روش اکسایش با دی کرومات پتاسیم و سپس تیتراژ کردن با فرو آمونیوم سولفات (Nelson and Sommers, 1996) pH خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر (Thomas, 1996) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش جانشین با استات آمونیوم (Sumner and Miller, 1996) اندازه‌گیری گردید. آزمایش آزادسازی مس :

برای آزمایش آزادسازی مس میزان ۱۰ گرم خاک هوا خشک شده در ۳ تکرار وزن و درون لوله سانتریفیوژ ریخته شد سپس ۲۰ میلی لیتر عصاره‌گیر AB-DTPA در pH ۷/۶ به خاک اضافه گردید (Soltanpour and Schwab, 1977). این عصاره‌گیر به نحو مطلوبی قادر است قابلیت دسترسی عناصر کم مصرفی نظیر مس را پیش بینی کند (Ghasemi-Fasaei et al., 2007). نمونه‌ها بر روی دستگاه شیکر در دمای 25±2°C برای دوره‌های زمانی (۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۴۸۰، ۹۶۰ دقیقه) تکان داده شد و سپس بلافاصله به مدت ۱۵ دقیقه درون دستگاه سانتریفیوژ قرار گرفت و پس از آن محلول زلال رویی از کاغذ صافی عبور داده شد. و سپس غلظت مس توسط دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل AA-670 تعیین گردید.

#### معادلات سینتیکی

در این پژوهش به منظور بررسی آزادسازی مس از هفت معادله سینتیکی شامل: شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، مرتبه صفر، مرتبه اول، الوویج ساده، تابع توانی و پخشیدگی سهموی استفاده گردید (جدول ۱). پس از جمع آوری داده‌ها هفت معادله فوق بر

شامل جذب سطحی فلز توسط ذرات خاک از محلول خاک، آزاد شدن فلز از ذرات خاک به محلول و رسوب و انحلال فلز در خاک می‌باشد (Strawn and Sparks, 2000). فرایند جذب عناصر توسط گیاهان یک فرایند دائمی است جذب عناصر توسط گیاه سبب تخلیه عناصر از سطح ریشه می‌گردد در نتیجه عناصر از سطح کلونیدها و کانی‌ها آزاد می‌گردد؛ بنابراین سرعت آزادسازی، جهت تامین عناصر برای رشد بهینه گیاه حائز اهمیت است (Shuman, 1986). (Singh et al., 1994) عنوان کردند که آزادسازی مس در خاک‌های آهکی مطابق با مدل خطی همدمای لانگمویر است. گیاهان از طریق اضافه کردن مواد آلی به فاز معدنی خاک در تشکیل و تکامل خاک مؤثر می‌باشند (Bååth, 1989) ریشه‌های برخی از گیاهان، ترکیباتی به داخل خاک ترشح می‌کنند. ترشحات ریشه ممکن است به عنوان فاکتور موثری در استخراج مقادیر قابل ملاحظه از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک‌های آهکی عمل کنند (Nezami and malakouti, 2016). (Kanbar and Kaouk, 2019) دریافتند که ترشحات ریشه‌ها سبب واجذبی مس می‌گردد. در گزارش دیگری آمده است که اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه آزادسازی عناصر غذایی را افزایش می‌دهند (Chen et al., 2003). ترشحات ریشه به طور مستقیم از طریق کلاته کردن، اسیدی شدن، رسوب کردن و اکسیداسیون و احیا بر جذب عناصر توسط گیاه و حلالیت عناصر غذایی تاثیر می‌گذارد (Uren and Reisenauer, 1988). خرما با نام علمی *Phoenix dactylifera L.* یکی از مهم‌ترین منابع غذایی انسان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بوده که از ارزش غذایی بسیار بالایی برخوردار است (Besbes et al., 2004). شاهانی نیز یکی از مهم‌ترین ارقام خرماي نرم ایران و از جمله مهم‌ترین و فراوانترین ارقام استان فارس محسوب می‌شود (Rasteghar and Rahemi, 2016). علیرغم اهمیت محصول خرما تحقیقات چندانی در خصوص اثر سایه‌انداز این درخت و عمق خاک بر قابلیت دسترسی و سینتیک آزادسازی عناصر از جمله مس صورت نگرفته است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر عمق خاک و سایه‌انداز سه رقم نخل بر سینتیک آزادسازی مس از خاک‌های تحت کشت نخل صورت گرفت.

#### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر عمق و پوشش گیاهی بر آزادسازی مس، مقداری خاک از شهرستان جهرم (طول جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۱ دقیقه شمال عرض جغرافیایی ۵۳ درجه ۳۴ دقیقه شرقی و

اندازه‌گیری برای هر نمونه است.

### تجزیه و تحلیل آماری

همه داده‌ها به کمک نرم افزار SAS 9.2 تجزیه تحلیل شدند و نمودارها به کمک نرم افزار Excel 2010 رسم گردیدند.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های کلی خاک منطقه مورد مطالعه

خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در زیر (جدول ۲) آمده است.

داده‌های تجمعی مس برازش داده شد. باتوجه به ضریب تبیین ( $R^2$ ) و خطای معیار استاندارد (برای برآورد میزان نزدیکی میانگین نمونه به میانگین جمعیت استفاده می‌شود) (SE) بهترین معادلات تعیین گردید. معادلاتی که دارای بالاترین ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد بودند به عنوان بهترین معادلات توصیف کننده آزادسازی مس معرفی شدند (جدول ۴، ۵، ۶). خطای معیار استاندارد از طریق معادله (۱) محاسبه گردید:

$$SE = \left( \frac{\sum(q_t - q)^2}{N-2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$q_t$  و  $q$  بیانگر مقدار مس آزاد شده در زمان  $t$  و  $N$  تعداد

جدول ۱- معادلات سینتیکی استفاده شده در این پژوهش

پارامتر	معادله	مدل
$k_*$ : ثابت سرعت شبه مرتبه اول	$q = q_e(1 - q^{k_*t})$	شبه مرتبه اول
$k_2$ : ثابت سرعت شبه مرتبه دوم	$q = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t}$	شبه مرتبه دو
$k_0$ : ثابت سرعت مرتبه صفر ( $mg\ cu\ kg^{-1}\ min^{-1}$ )	$q_t = q_0 - k_0 t$	مرتبه صفر
$k_1$ : ثابت سرعت مرتبه اول ( $min^{-1}$ )	$lnq_t = lnq_0 - k_1 t$	مرتبه اول
$k_p$ : ثابت سرعت پخشیدگی ( $mg\ cu\ kg^{-1}$ ) <sup>۰.۵</sup>	$q_t = q_0 + k_p t^{0.5}$	انتشار سهموی
$a$ : ثابت سرعت واجذب اولیه مس ( $mg\ cu\ kg^{-1}\ min^{-1}$ )	$q_t = at^b$	تابع توانی
$b$ : ثابت واجذب اولیه مس ( $mg\ cu\ kg^{-1}$ ) <sup>-۱</sup>		
$a_s$ : ثابت سرعت واجذب اولیه مس ( $mg\ cu\ kg^{-1}\ min^{-1}$ )	$q_t = \frac{1}{\beta_s} ln(\alpha_s \beta_s) + \frac{1}{\beta_s} lnt$	الوویج ساده
$\beta_s$ : ثابت واجذب اولیه مس ( $mg\ cu\ kg^{-1}$ ) <sup>-۱</sup>		

#### آزادسازی مس

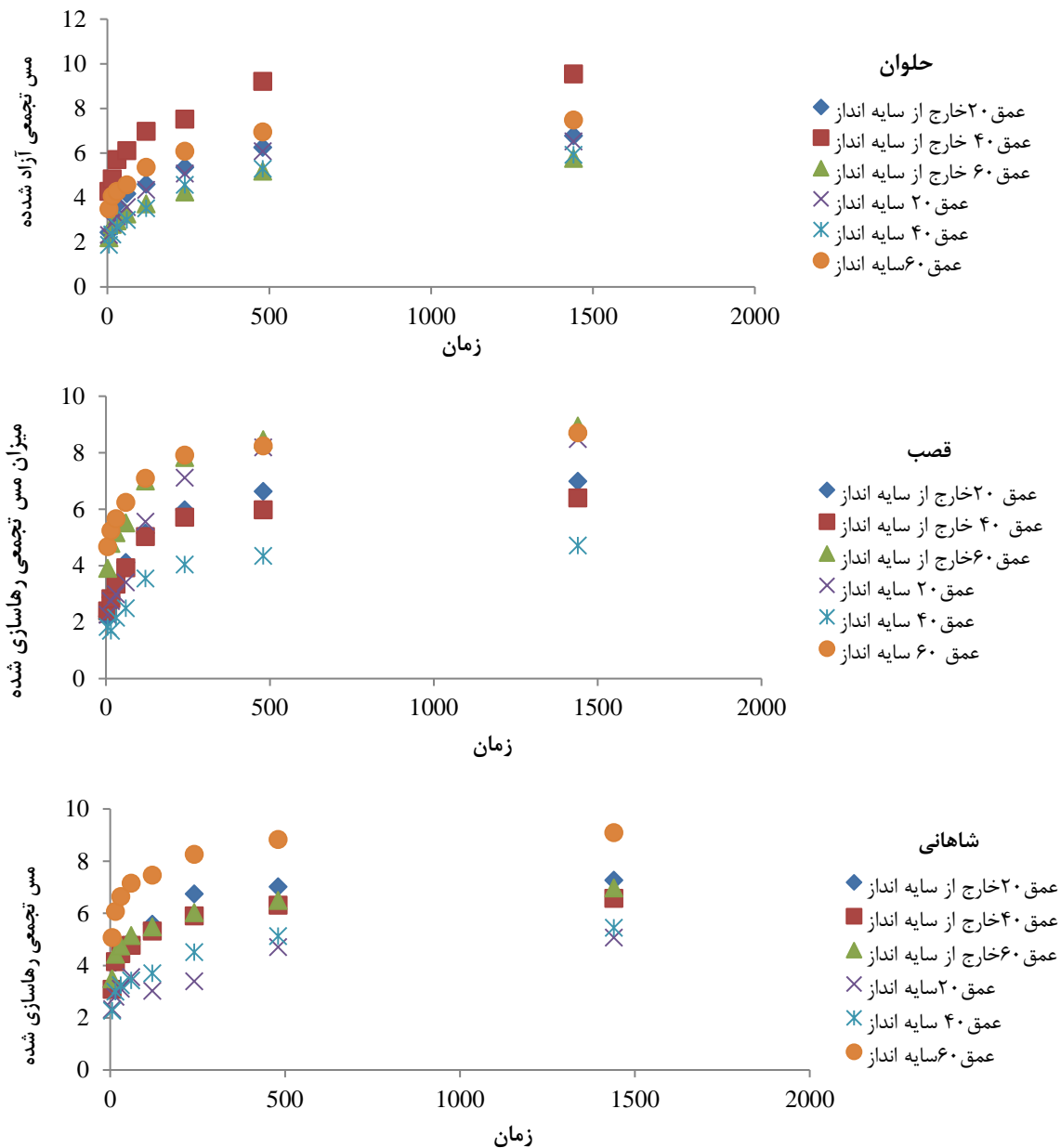
روند آزادسازی مس به وسیله عصارگیر AB-DTPA در خاک‌های مورد مطالعه در شکل (۱) آمده است. نتایج این پژوهش نشان داد که آزادسازی مس برای خاک هر سه رقم شاهانی، قصب و حلوان در هر ۳ عمق سایه‌انداز و خارج از سایه‌انداز در ابتدا سریع و بعد از آن کاهش یافت و تقریباً شیب ثابتی را طی کرد. این یافته با یافته (Olama *et al.*, 2010) برای مس، Reyhanitabar, (2011) برای آهن و (Abdi *et al.*, 2014) برای پتاسیم غیر تبدالی و برای روی (Boostani *et al.*, 2019) تطابق دارد. بیشترین و کمترین مقدار مس تجمعی آزاد شده در خارج از سایه‌انداز مربوط به رقم حلوان به ترتیب در عمق (۴۰-۲۰ سانتی متری) به میزان (۵۳۷/۱۹  $mg\ kg^{-1}$ ) و عمق (۶۰-۴۰ سانتی متری) به میزان (۲۲۰/۲۰  $mg\ kg^{-1}$ ) بود همچنین بیشترین و کمترین مقدار مس تجمعی آزاد شده در سایه‌انداز به ترتیب در عمق (۶۰-۴۰ سانتی متری) سایه‌انداز رقم شاهانی به میزان (۹/۰۵  $mg\ kg^{-1}$ ) و در عمق (۴۰-۲۰ سانتی متری) رقم قصب به میزان (۱/۸۲۳  $mg\ kg^{-1}$ ) بود. آزادسازی سریع برای هر سه رقم تا زمان ۱۲۰ دقیقه ادامه داشت اما بعد از آن مس با سرعت کمتری آزاد

گردید. مرحله سریع آزادسازی و بعد از آن کاهش سرعت آزادسازی را می‌توان به دلیل تفاوت در مکان‌های آزادسازی مس نسبت داد. بالاتر بودن میزان انتشار مس در عمق‌های پایین را می‌توان به دلیل بالاتر بودن توانایی این قسمت‌ها در تامین مس دانست. در دو رقم شاهانی و قصب بیشترین میزان آزادسازی مس در عمق (۶۰-۴۰ سانتی متری) سایه‌انداز می‌باشد که می‌توان به دلیل ترشحات ریشه از جمله اسیدهای آلی در این ناحیه نیاز است (Yong-liang *et al.*, 2002) دریافت که با افزایش غلظت اسید سیتریک که نوعی اسید آلی است غلظت بعضی از عناصر مانند مس افزایش می‌یابد. نتایج پژوهشی که در خصوص کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر روی آزادسازی عناصر غذایی در خاک-های آهکی انجام شده بود نشان داد که کاربرد اسیدهای آلی و معدنی سبب افزایش آزادسازی عناصر می‌شود (Etemadian *et al.*, 2018). بر اساس گزارشات (Mench) and Martin, 1991 عوامل متعددی از جمله ترشحات ریشه می‌تواند بر افزایش حلالیت مس تاثیر گذار باشد. از طرفی (Tao *et al.*, 2003) و (Wang *et al.*, 2002) گزارش کردند که تفاوت بیولوژیکی و شیمیایی منطقه ریشه می‌تواند باعث تغییر در توزیع شکل

شیمیایی و آزادسازی مس گردد. در گزارش دیگری عنوان شد که ترشحات ریشه‌ها قادر هستند که حتی مس متصل به ماده آلی را آزاد کنند (Kanbar and Kaouk, 2019).

جدول ۲- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه

پH	قابلیت هدایت الکتریکی (ds m-1)	بافت	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmolc kg-1)	% ماده آلی	مس (mg kg-1)
۷/۲۳	۳/۹۶	clay loam	۹/۲۳	۲/۶۳	۳/۶۰
خواص شیمیایی خاک‌های تحت مطالعه					
رقم حلوان		سایه‌انداز			
پهش		ماده آلی %			
۷/۶		۳/۷۴			
۷/۷		۳/۳۱			
۷/۵۸		۳/۲۸			
خارج از سایه‌انداز		خارج از سایه‌انداز			
۷/۷		۳/۶۱			
۷/۸		۲/۹۹			
۷/۶۴		۳/۳۴			
رقم قصب		سایه‌انداز			
پهش		ماده آلی %			
۷/۷۷		۴/۵			
۷/۸۷		۴/۶۵			
۷/۸۳		۳/۶۶			
خارج از سایه‌انداز		خارج از سایه‌انداز			
۷/۶۷		۳/۱۳			
۷/۷۵		۳/۷۱			
۷/۸۶		۲/۷۵			
رقم شاهانی		سایه‌انداز			
پهش		ماده آلی %			
۷/۶۳		۳/۳۰			
۷/۷۱		۳/۷۰			
۷/۵۵		۳/۳۴			
خارج از سایه‌انداز		خارج از سایه‌انداز			
۷/۸		۳/۳۸			
۷/۶۸		۳/۱۳			
۷/۵۷		۲/۹۱			



شکل ۱- اثر سایه انداز بر مقدار مس تجمعی آزادسازی شده از اعماق مختلف

حاضر مطابقت دارد. از طرفی (Taghdis *et al.*, 2016) گزارش کردند بهترین معادلات آزادسازی روی در خاک‌های آهکی به ترتیب الوویج ساده، تابع توانی و انتشار سهموی می‌باشد. از طرفی (Khater and Zaghoul, 2002) گزارش دادند که معادله مرتبه اول یکی از بهترین معادله توصیف کننده انتشار مس می‌باشد که با یافته‌های موجود در این پژوهش مطابقت ندارد. بهترین معادلات توصیف کننده آزادسازی مس در سه عمق زیر سایه انداز و خارج از سایه انداز رقم شاهانی و حلوان معادلات تابع توانی، الوویج ساده و انتشار سهموی بودند که به ترتیب دارای بیشتری ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کمترین خطای استاندارد بودند. میانگین ضریب تبیین و خطای استاندارد رقم شاهانی در معادله تابع توانی در سایه انداز (۰/۹۳ و ۰/۰۶) و خارج از سایه انداز (۰/۹۵ و ۰/۰۵) و در رقم حلوان

### سینتیک آزادسازی مس

از بین هفت معادله استفاده شده در این پژوهش معادلات الوویج ساده، تابع توانی و انتشار سهموی بهترین معادلات توصیف کننده آزادسازی مس بودند و دارای بالاتری ضریب تبیین ( $R^2$ ) و پایین ترین خطای معیار استاندارد (SE) بودند. معادلات مرتبه صفر و مرتبه اول نتوانستند توصیف خوبی از داده‌های سینتیکی داشته باشند و ضریب تبیین این معادلات با افزایش مرتبه معادله کاهش یافت. (Motaghain *et al.*, 2016)، (Taghdis *et al.*, 2016) و (Reyhanitabar and Karimian, 2008) و (Ghasemi-Fasaei *et al.*, 2007) دریافتند که معادلات تابع توانی، الوویج ساده و انتشار سهموی بهترین معادلات توصیف کننده آزادسازی مس در خاک‌های آهکی ایران می‌باشند که این یافته با نتایج آزمایش

استاندارد بودند میانگین ضریب تبیین و خطای استاندارد در معادله الوویج ساده در سایه‌انداز (۰/۹۳ و ۰/۱۰۶) و در خارج از سایه‌انداز (۰/۹۵ و ۰/۰۷) بود (جدول ۵).

در سایه‌انداز (۰/۹۸ و ۰/۰۴۸) و خارج از سایه‌انداز (۰/۰۴۵ و ۰/۰۹۸) می‌باشد (جدول ۳ و ۴) همچنین در رقم قصب در ۳ عمق سایه-انداز و خارج از سایه‌انداز ۳ معادله الوویج ساده، تابع توانی و انتشار سهموی دارای بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای

جدول ۳- میانگین و دامنه ضرایب تبیین و خطای معیار استاندارد حاصل از برازش مدل‌های سینتیکی داده‌های آزاد شدن مس رقم شاهانی

سایه انداز				خارج از سایه انداز				
دامنه		میانگین		دامنه		میانگین		
R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	
۰/۵۱-۰/۵۶	۰/۰۶-۰/۰۸	۰/۵۳	۰/۰۷	۰/۵۵-۰/۷۹	۰/۰۵-۰/۰۷	۰/۶۵	۰/۰۶	شبه مرتبه اول
۰/۹۹۵-۰/۹۹۶	۱/۱۴-۲/۱۶	۰/۹۹	۱/۷۰	۰/۹۹۲-۰/۹۹۹	۰/۸۵-۰/۹۸	۰/۹۹	۴/۴۱	شبه مرتبه دوم
۰/۵۲-۰/۵۸	۰/۷۸-۱/۱	۰/۹۲	۰/۵۴	۰/۵۳-۰/۷۲	۱-۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۷۵	مرتبه صفر
۰/۴-۰/۵	۰/۲۱-۰/۷۱	۰/۴۶	۰/۲۰	۰/۴۶-۰/۶۵	۰/۰۷-۰/۰۹	۰/۵۵	۰/۰۷	مرتبه اول
۰/۹۴-۰/۹۷	۰/۰۴-۰/۰۶	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۸۶-۰/۹۶	۰/۰۴-۰/۰۱	۰/۹۳	۰/۰۶	تابع توانی
۰/۷۸-۰/۷۵	۰/۵۲-۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۶۴	۰/۷۶-۰/۸۵	۰/۳-۰/۰۷	۰/۸۱	۰/۱۵	انتشار سهموی
۰/۹۶-۰/۹۹	۰/۱-۰/۲۹	۰/۹۷	۰/۱۹	۰/۸۳-۰/۹۶	۰/۲-۰/۴۱	۰/۹۲	۰/۲۷	الوویج ساده

جدول ۴- میانگین و دامنه ضرایب تبیین و خطای معیار استاندارد حاصل از برازش مدل‌های سینتیکی داده‌های آزاد شدن مس رقم حلوان

سایه انداز				خارج از سایه انداز				
دامنه		میانگین		دامنه		میانگین		
R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	
۰/۶۱-۰/۷۱	۰/۰۶-۰/۰۹	۰/۶۵	۰/۰۷	۰/۶۸-۰/۷۱	۰/۰۶-۰/۰۸	۰/۶۹	۰/۰۸	شبه مرتبه اول
۰/۹۹۶-۰/۹۹۸	۲/۲۳-۵/۲۷	۰/۹۹	۳/۶۰	۰/۹۹۷-۰/۹۹۸	۳/۷-۴/۴۸	۰/۹۹	۳/۷۳	شبه مرتبه دوم
۰/۶۴-۰/۷۳	۰/۶۸-۱/۲۳	۰/۶۷	۰/۹۵	۰/۶۶-۰/۶۸	۰/۸۶-۰/۹۶	۰/۶۸	۰/۸۹	مرتبه صفر
۰/۴۶-۰/۶۲	۰/۲-۰/۳۶	۰/۵۵	۰/۲۶	۰/۵۶-۰/۶۱	۰/۱۸-۰/۲۸	۰/۵۸	۰/۳۴	مرتبه اول
۰/۹۶-۰/۹۸	۰/۱۸-۰/۳۸	۰/۹۷	۰/۲۷	۰/۹۸-۰/۹۸۴	۰/۰۴-۰/۰۵	۰/۹۸	۰/۰۴	تابع توانی
۰/۸۳-۰/۹۱	۰/۳۷-۰/۷۸	۰/۸۷	۰/۵۸	۰/۸۷۶-۰/۸۹	۰/۵-۰/۵۷	۰/۸۸	۰/۵۳	انتشار سهموی
۰/۹۷-۰/۹۸	۰/۰۵-۰/۳۸	۰/۹۸	۰/۰۴	۰/۹۵-۰/۹۶	۰/۲۹-۰/۳۱	۰/۹۶	۰/۳۰	الوویج ساده

جدول ۵- میانگین و دامنه ضرایب تبیین و خطای معیار استاندارد حاصل از برازش مدل‌های سینتیکی داده‌های آزاد شدن مس رقم قصب

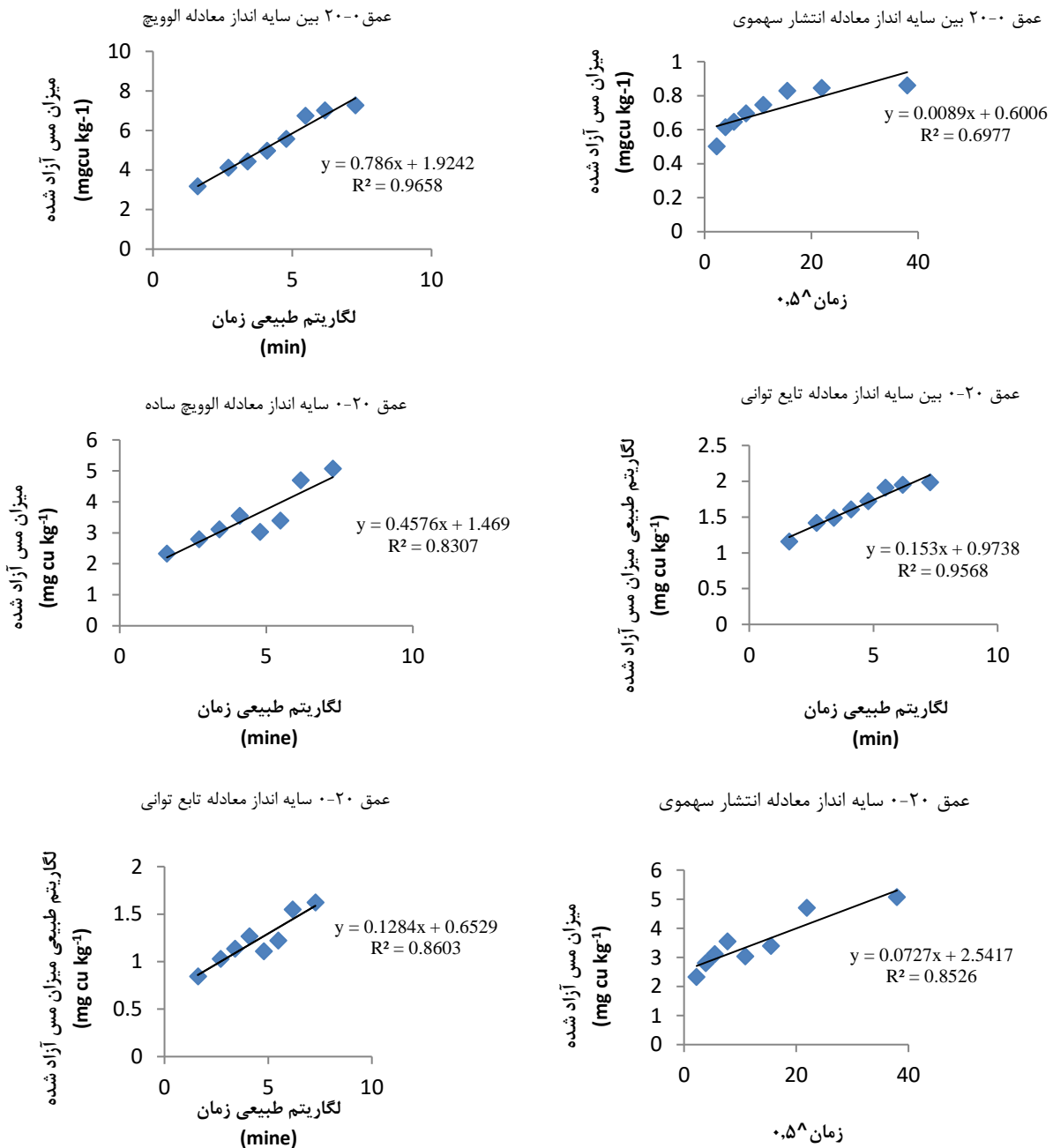
سایه انداز				خارج از سایه انداز				
دامنه		میانگین		دامنه		میانگین		
R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	R <sup>2</sup>	SE	
۰/۵۲-۰/۶۳	۰/۰۸-۰/۱۲	۰/۵۶	۰/۱	۰/۵۸-۰/۶۵	۰/۰۶-۰/۱۳	۰/۶۱	۰/۱	شبه مرتبه اول
۰/۹۹۳-۰/۹۹۴	۱/۴۵-۱/۸۸	۰/۹۹	۱/۷۳	۰/۹۹۶-۰/۹۹۷	۱/۱۸-۴/۳	۰/۹۹	۲/۵۴	شبه مرتبه دوم
۰/۵۳-۰/۵۸	۱/۱۳-۱/۳۱	۰/۵۵	۱/۲۴	۰/۵۶-۰/۵۸	۰/۸۴-۱/۷۹	۰/۵۷	۱/۲۳	مرتبه صفر
۰/۴-۰/۵	۰/۲۲-۰/۳۳	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۴۹-۰/۵۰	۰/۱۵-۰/۴	۰/۵۰	۰/۲۴	مرتبه اول
۰/۹۵-۰/۹۶	۰/۰۶-۰/۰۸	۰/۹۶	۰/۳۴	۰/۹۱-۰/۹۷	۰/۰۴-۰/۱۴	۰/۹۳	۰/۱۰	تابع توانی
۰/۷۷-۰/۸۰	۰/۸۸-۱/۲	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۷۷-۰/۸۰	۰/۶۶-۱/۲	۰/۷۹	۰/۸۶	انتشار سهموی
۰/۹۱-۰/۹۶	۰/۲۸-۰/۳۲	۰/۹۵	۰/۰۷	۰/۹۱-۰/۹۷	۰/۲-۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۱۰	الوویج ساده

سرعت آزادسازی به مراتب کمتر بوده است.

بیشترین سرعت آزادسازی مربوط به رقم شاهانی عمق ۴۰-۶۰ زیر سایه‌انداز و کمترین مقدار سرعت آزادسازی مربوط به عمق ۲۰-۴۰ زیر سایه‌انداز بوده‌است در تمامی نمونه‌های خاک به جز عمق ۲۰-۴۰ سانتی متری زیر سایه‌انداز رقم شاهانی، شکست شیب فرم خطی منحنی انتشار سهموی در زمان ۱۲۰ دقیقه بوده است که حاکی از آزادسازی سریع مس در طول دو

شکل (۲) روند آزادسازی مس توسط سه معادله قابل قبول (الوویج ساده شده، تابع توانی و انتشار سهموی) در توصیف داده‌های آزادسازی مس در زیر سایه‌انداز و خارج از سایه‌انداز عمق (۲۰-۰ سانتی متری) خاک تحت کشت رقم شاهانی را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین سرعت آزادسازی مس از زمان ۱۲۰ تا ۱۴۴۰ دقیقه بوده‌است و در طول زمان ۱۲۰ تا ۱۴۴۰

ساعت اول آزمایش بوده است.



شکل ۲- سینتیک آزادسازی مس از عمق ۰-۲۰ سانتی متری خاک تحت کشت نخل رقم شاهانی

به علت تکان دادن مدام نمونه‌ها ممکن است ۲ ساز و کار انتشار مس را درون ذرات خاک کنترل کند (Sivasubramania and Talibudeen, 1972). آزاد شدن مس در ابتدای فرایند از خاکدانه های درشت سطح بیرونی خاکدانه‌های ریز و به دنبال آن انتشار از سطوح داخلی خاکدانه‌های ریز و درشت انجام می‌شود (Khater and Zaghoul, 2002; Ghasemi-Fasaei et al., 2006).

#### ضرایب معادلات سینتیکی

ضرایب سرعت معادلات سینتیکی در جداول ۶، ۷ و ۸ آمده است. Kp در معادلات انتشار سهموی میزان پخشیدگی مس را نشان

Ghasemi-Fasaei et al. (2006) شکست در منحنی فرم خطی معادله انتشار سهموی را در زمان ۱۲۰ دقیقه گزارش دادند همچنین عنوان کردند که سرعت مس آزاد شده در زمان ۱۲۰ تا ۱۴۰ دقیقه بیشتر از زمان ۱۲۰ تا ۱۴۰ بوده است که این یافته با نتایج حاضر در این آزمایش همخوانی دارد. از طرفی (Reyhanitabar and Karimian, 2008) گزارش کردند که نرخ آزادسازی مس در خاک آهکی در زمان ۹-۰ ساعت بیشتر از زمان ۹-۱۹۲ ساعت بوده است. شکست در منحنی انتشار سهموی احتمالاً به دلیل وجود دو مکانیزم کنترل کننده انتشار مس است



این است که بیش از یک سطح انتشار مس را کنترل می‌کند. در خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش تمام مقادیر b (به جز عمق ۲۰-۲۰ سایه‌انداز رقم قصب) کمتر از ۰/۲۵ می‌باشد. ضریب a در معادله تابع توانی در خاک‌های خارج از سایه‌انداز دارای دامنه- ای از  $1/61$  ( $mg\ kg^{-1}$ ) در عمق ۲۰-۲۰ رقم قصب تا  $3/32$  ( $mg\ kg^{-1}$ ) در عمق ۲۰-۴۰ رقم حلوان می‌باشد همچنین در خاک‌های زیر سایه‌انداز این ضریب دارای دامنه  $1/14$  ( $mg\ kg^{-1}$ )<sup>۱</sup> در عمق ۲۰-۴۰ رقم قصب تا  $4/53$  ( $mg\ kg^{-1}$ ) در عمق ۶۰-۴۰ رقم شاهانی می‌باشد. افزایش a یا  $a_s$  و کاهش b یا  $\beta_s$  می‌تواند نشان دهنده افزایش سرعت آزادسازی مس باشد (Chien and Clayton, 1980; Dang *et al.*, 1994). در خارج از سایه‌انداز هر سه رقم با افزایش عمق سرعت آزادسازی افزایش پیدا کرد. در زیر سایه‌انداز الگوی سرعت آزادسازی متفاوت از خارج از سایه‌انداز بود. در زیر سایه‌انداز با افزایش عمق از ۲۰-۲۰ تا ۲۰-۴۰ آزادسازی کاهش اما از عمق ۲۰-۴۰ تا عمق ۶۰-۴۰ سرعت آزادسازی افزایش پیدا کرد به طور کلی سرعت آزادسازی مس در عمق ۶۰-۴۰ بیش از سایر عمق‌ها بوده است الگوی سرعت آزادسازی مس در زیر سایه‌انداز و خارج از سایه‌انداز به ترتیب زیر است:

- (الف) خارج از سایه‌انداز  $40 < 60 < 20 < 20$  -  
 (ب) زیر سایه‌انداز  $40 < 60 < 20 < 20$  -

می‌دهد که در زیر سایه‌اندازها دارای دامنه‌ی (۰/۰۷) در عمق ۲۰-۲۰ رقم شاهانی تا (۰/۱۴) عمق ۲۰-۲۰ رقم قصب می‌باشد. همچنین این ضریب در خارج از سایه‌انداز دارای دامنه (۰/۰۰۸) در عمق ۲۰-۲۰ رقم شاهانی تا (۰/۱۴۹) در عمق ۲۰-۴۰ رقم حلوان می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که در خاک‌های مورد مطالعه با افزایش عمق میزان پخشیدگی افزایش یافت اما این روند به طور منظم نبود. ضریب b در معادله تابع توانی نشان دهنده سرعت آزاد شدن مس می‌باشد که در خاک‌های خارج از سایه‌انداز دارای دامنه  $0/11$  ( $mg\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ) در عمق ۶۰-۴۰ رقم شاهانی تا  $0/27$  ( $mg\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ) عمق ۲۰-۲۰ رقم قصب می‌باشد. میانگین ثابت a و b در این پژوهش به ترتیب  $2/34$  و  $0/16$  می‌باشد (Sadegh Kasmaei and Fekri, 2012) در پژوهشی که بر روی واجذبی مس در خاک‌های آهکی ایران انجام داد دریافتند که میزان ثابت a و b دارای میانگین  $0/31$  و  $0/21$  می‌باشد که این مقدار از یافته‌های موجود در این پژوهش کمتر است علت این تفاوت را می‌توان تفاوت در ویژگی‌های خاک و نوع خاک دانست. پژوهشگران گزارش کردند که مقادیر b کمتر از ۱ نشان دهنده کاهش سرعت انتشار مس با افزایش زمان است (Motaghian and Hossein pour, 2013) که در این پژوهش تمام مقادیر ضریب b کمتر از یک می‌باشد از طرفی دیگر (Dang *et al.*, 1994) دریافتند مقادیر b کمتر یا مساوی  $0/25$  نشان دهنده

جدول ۶- ضرایب معادلات مربوط به رقم شاهانی

خارج از سایه‌انداز							
عمق	تابع توانی	الوویج ساده	انتشار سهموی				
	a	b	a*b	$\beta_s$	$a_s$	$q_0$	$k_p$
۰-۲۰	۲/۶۴	۰/۳۶	۰/۴۰	۱/۲۷	۴/۰۱	۰/۶۰	۰/۰۰۸
۰-۴۰	۲/۷۳	۰/۱۳	۰/۳۶	۱/۵۹	۲۳/۸	۳/۹۳	۰/۰۸۶
۴۰-۶۰	۳/۰۹	۰/۱۱	۰/۳۳	۱/۶۴	۴۶/۷۶	۴/۲۰	۰/۰۸۴
زیر سایه‌انداز							
۰-۲۰	۱/۹۲	۰/۱۲	۰/۲۴	۲/۱۸	۱۱/۹۴	۲/۵۴	۰/۰۷
۰-۴۰	۱/۸۶	۰/۱۵	۰/۲۸	۱/۷۳	۵/۲۶	۲/۷۱	۰/۰۸
۴۰-۶۰	۴/۵۳	۰/۱۰	۰/۴۷	۱/۳۶	۱۸۱/۷۲	۵/۹۷	۰/۱۰

جدول ۷- ضرایب معادلات مربوط به رقم حلوان

خارج از سایه‌انداز							
عمق	تابع توانی	الوویج ساده	انتشار سهموی				
	a	b	a*b	$\beta_s$	$a_s$	$q_0$	$k_p$
۰-۲۰	۱/۹۷	۰/۱۷	۰/۳۵	۱/۲۷	۳/۱۸	۳/۰۶	۰/۱۱
۰-۴۰	۳/۳۲	۰/۱۵	۰/۵۰	۰/۹۹	۹/۶۷	۴/۸۰	۰/۱۴
۴۰-۶۰	۱/۶۷	۰/۱۷	۰/۲۸	۱/۵۵	۲/۶۳	۲/۴۶	۰/۰۹
زیر سایه‌انداز							
۰-۲۰	۱/۶۷	۰/۱۹	۰/۳۲	۱/۲۳	۱/۸	۲/۶۴	۰/۱۲
۰-۴۰	۱/۳	۰/۲۱	۰/۲۷	۱/۳۱	۱/۰۶	۲/۱۲	۰/۱۱
۴۰-۶۰	۲/۷	۰/۱۴	۰/۳۸	۱/۳۲	۹/۶۹	۳/۷۸	۰/۱۱

می‌توان به دلیل ترشحات ریشه مثل اسیدهای آلی باشد از طرفی اسیدهای آلی باعث کاهش pH می‌شود که سبب آزادسازی و حلالیت مس می‌گردد. (Barth, 1980) گزارش کرد که میزان عناصر کم مصرف به جز مس در خاک‌های تحت کشت کاج بیش از خاک‌های مجاور است او اعلام کرد میزان تجمع مس در خاک‌های سطحی و زیر سطحی تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. سرعت اولیه آزادسازی مس ab در این عمق در سایه‌انداز بیش از خارج از سایه‌انداز بوده است. (Ghasemi-Fasaei *et al.*, 2006) گزارش کردند که ab با افزایش CEC و یا کاهش pH افزایش می‌یابد. به طور کلی از بین سه رقم درخت نخل در این پژوهش رقم شاهانی بیشترین تاثیر را در آزادسازی مس داشته است. روند آزادسازی مس در خاک‌های سایه‌انداز تحت کشت سه رقم درخت نخل به ترتیب رو به رو می‌باشد: شاهانی < قصب < حلوان.

در این پژوهش بالاتر بودن سرعت آزادسازی مس در عمق ۲۰-۴۰ سایه‌انداز نسبت به ۲۰-۴۰ می‌توان به دلیل کمتر بودن pH در این عمق ۲۰-۴۰ باشد که این کاهش پهاش می‌توان باعث افزایش آزادسازی مس شود. با توجه به مشخصات جدول (۲) با افزایش عمق میزان پهاش کاهش پیدا کرد از طرفی در این آزمایش مشخص شد که با افزایش عمق میزان آزادسازی مس افزایش یافت در واقع شاید بتوان علت افزایش آزادسازی مس را کاهش پهاش دانست. در مطالعه‌ای مشخص شد که با کاهش پهاش ناحیه اطراف ریشه تنباکو فراهمی روی افزایش یافت (Straczek & Hinsinger, 2004). همچنین می‌توان بیشتر بودن میزان ماده آلی در اعماق اولیه را به دلیل وجود لاش- برگها در سطح خاک دانست. آزادسازی مس در عمق ۴۰-۶۰ سایه‌انداز بیش از ۴۰-۶۰ خارج از سایه‌اندازها بوده است که

جدول ۸- ضرایب معادلات مربوط به رقم قصب

خارج از سایه‌انداز							
عمق	تابع توانی	الوویج ساده	انتشار سهموی				
	a	b	a*b	$\alpha_s$	$\beta_s$	$q_0$	$k_p$
۰-۲۰	۱/۶۱	۰/۲۲	۰/۳۵	۱/۵	۱/۰۵	۲/۹۶	۰/۱۱
۰-۴۰	۱/۷۸	۰/۱۹	-۰/۳۴	۲/۳۹	۱/۲۴	۲/۸۷	۰/۱۳
۴۰-۶۰	۳/۰۸	۰/۱۵	۰/۴۸	۱/۱۰	۱/۶۱	۴/۵۹	۰/۱۴
زیر سایه‌انداز							
۰-۲۰	۱/۳۳	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۷۵	۰/۷۶	۲/۵۳	۰/۱۹
۰-۴۰	۱/۱۴	۰/۲۰	-۰/۲۳	۱/۰۹	۱/۶۱	۱/۹۱	۰/۰۹
۴۰-۶۰	۲/۸	۰/۱۲	۰/۴۵	۴۶/۶	۱/۲۶	۵/۲۳	۰/۱۱

#### همبستگی ضرایب معادلات سینتیکی

همانطور که در متن اشاره شد بسیاری از محققان دریافتند که افزایش ضریب a و کاهش ضریب b نشان دهنده افزایش سرعت آزادسازی یک عنصر می‌باشد. (Reyhanitabar and Karimian, 2008) گزارش کردند که همبستگی مثبت و معنا داری بین ضریب a و ab در معادله تابع توانی وجود داد همچنین اعلام کردند که ضرایب a و b با یکدیگر همبستگی معناداری ندارند.

همبستگی بین ضرایب معادلات سینتیکی در کلیه خاک‌های سایه‌انداز و خارج از سایه‌انداز در جدول زیر آمده است (جدول ۹). در معادلات سینتیکی در این پژوهش ضریب a همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با ضریب ab در معادله تابع توانی داشت از طرفی دیگر ضریب a همبستگی معنا دار اما منفی با ضریب b دارد

جدول ۹- همبستگی ضرایب معادلات

ضرایب	a	ab	b	$\alpha_s$	$\beta_s$	$q_0$
ab	۰/۷۷**					
b	-۰/۷۷**	ns				
$\alpha_s$	۰/۷۳**	ns	۰/۵۴*			
$\beta_s$	ns	-۰/۴۹*	-۰/۶۲**	ns		
$q_0$	۰/۷۹**	۰/۶۷**	-۰/۴۹*	۰/۶۳**	ns	
$k_p$	ns	ns	۰/۵۸	ns	-۰/۶۶**	ns

\* و \*\* اعداد معنا دار و بسیار معنا دار می‌باشند. ns اعداد معنادار نبودند

## نتیجه‌گیری

۶۰-۴۰ سانتی متری خاک‌های سایه‌انداز بیشتر از سایر عمق‌ها بوده است که می‌توان به دلیل ترشحات ریشه و کاهش پهاش دانست. الگوی آزادسازی مس در معادله انتشار سهموی نشان دهنده این است که سرعت آزادسازی در زمان ۲ ساعت بیشترین بوده است و بعد از آن سرعت آزادسازی کاهش پیدا می‌کند. "هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

نتایج این تحقیق نشان داد که سه معادله تابع توانی، الویج ساده و انتشار سهموی بهترین معادلات توصیف کننده آزادسازی مس در خاک‌های سایه‌انداز و خارج از سایه‌انداز تحت کشت سه رقم نخل شاهانی، قصب و حلوان بود. در بین این سه رقم، خاک تحت کشت رقم شاهانی بیشترین تاثیر در آزادسازی مس در خاک داشت. از طرفی دیگر سرعت آزادسازی مس در عمق‌های

## REFERENCES

- Abdi, S., Ghasemi Fasaee, R., Karimian, N.A., and Feizian, M (2014). Availability and Release Kinetics of Nonexchangeable Potassium in Some Calcareous Soils of Fars Province. *Journal of Water and Soil*. 28:4.766-777(In Farsi).
- Bååth, E. (1989). Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). *Water, Air, and Soil Pollution*, 47(3-4), 335-379.
- Barth, R. C. (1980). Influence of Pinyon Pine Trees on Soil Chemical and Physical Properties 1. *Soil Science Society of America Journal*, 44(1), 112-114.
- Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N. E., & Attia, H. (2004). Date seeds: chemical composition and characteristic profiles of the lipid fraction. *Food chemistry*, 84(4), 577-584.
- Boostani, H. R., Najafi-Ghiri, M., Amin, H., & Mirsoleimani, A. (2019). Zinc desorption kinetics from some calcareous soils of orange (*Citrus sinensis* L.) orchards, southern Iran. *Soil science and plant nutrition*, 65(1), 20-27.
- Bouyoucos CJ (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54, 464-465.
- Chien SH, Clayton WR (1980). Application of Elovich equation to the kinetics of phosphate release and sorption in soils. *Soil Science Society of America Journal* 44, 265-268.
- Chen, Y.X., Lin, Q., Luo, Y.M., He, Y.F., Zhen, S.J., Yu, Y.L., Tian, G.M., and Wong, M.H. (2003). The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*. 50: 807-811.
- Dang YP, Dalal RC, Edwards DG, Tiller KG (1994). Kinetics of zinc desorption from Vertisols. *Soil Science Society of America Journal* 58, 1392-1399.
- Dudley, L. M., McLean, J. E., Furst, T. H., & Jurinak, J. J. (1991). Sorption of cadmium and copper from an acid mine waste extract by two calcareous soils: Column studies. *Soil Science*, 151(2), 121-135.
- Elbana, T. A., & Selim, H. M. (2019). Multireaction Modeling of Lead (Pb) and Copper (Cu) Sorption/Desorption Kinetics in Different Soils. *Soil Systems*, 3(2), 38.
- Etemadian, M., Hassani, A., Nourzade, H., and Hanifei, M. (2018). Effect of organic and inorganic acids on the release of nutrients in calcareous soils. *Journal of Water and Soil Conservation*. 24:5.73-95.(In Farsi).
- Ghasemi-Fasaee, R., Maftoun, M., Ronaghi, A., Karimian, N., Yasrebi, J., Assad, M. T., & Ippolito, J. A. (2006). Kinetics of copper desorption from highly calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(05-06), 797-809.
- Ghasemi-Fasaee, R., Tavajjoh, M., Olama, V., Molazem, B., Maftoun, M., Ronaghi, A. & Adhami, E. (2007). Copper release characteristics in selected soils from southern and northern Iran. *Soil Research*, 45(6), 459-464.
- Ghoharghani, J. (2015). Management of sulfur consumption in the absorption of micronutrient in soil and seed Rapeseed in calcareous soil. *Journal of soil biology* 3:1.74-82.
- Kanbar, H. J., & Kaouk, M. (2019). Mineral and chemical changes of sediments after Cu sorption and then desorption induced by synthetic root exudate. *Chemosphere*, 236, 124393.
- Kasmaei, L. S., & Fekri, M. (2012). Application of Cu fertilizer on Cu recovery and desorption kinetics in two calcareous soils. *Environmental earth sciences*, 67(7), 2121-2127.
- Khater, A. H. and Zaghoul, A. M. (2002). Copper and zinc desorption kinetics from soil: Effect of pH, paper presented at the 17th World Conference on Soil Science, Thailand, Symposium, No. 47, August 19.
- Mench, M., & Martin, E. (1991). Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. *Plant and soil*, 132(2), 187-196
- Motaghain, H., Hossein pour, A., and Kiani, sh. (2016). Zinc and Copper Release Kinetics in a Calcareous Soil amended with Manure and Vermicompost. *J .water and soil*. 30:2.581-893(In Farsi).
- Motaghian, H., and Hossein pour, A. (2013). Changes in copper release properties in wheat (*Triticum aestivum*. L) Rhizosphere of some calcareous soils. *Journal of water and soil*. 44:1.107-122(In Farsi).

- Munier, P. (1955): Le palmier dattier en Mauritanie. Ann. Inst. Fruits et Agrumes Coloniaux 12, 66 pp.
- Nelson DW. and Sommers, LE. (1996) Total carbon, organic carbon and organic matter. In 'Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods'. (Ed. DL Sparks) pp. 961–1010. (Soil Science Society of America: Madison, WI)
- Nezami, S., & Malakouti, J. (2016). The Role of Organic Acids on the Release of Phosphorus and Zinc in a Calcareous Soil. 30:3.805-816 (In Farsi)
- Niazi, N. K., Singh, B., & Minasny, B. (2015). Mid-infrared spectroscopy and partial least-squares regression to estimate soil arsenic at a highly variable arsenic-contaminated site. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(6), 1965-1974.
- Oihabi, A. (1991): Effect of vesicular arbuscular Mycorrhizae on Bayoud disease and date palm nutrition. Ph-D thesis at the University of Marrakech; 199pp.
- Olama, V., Ronaghi, A., Karimian, N., Ghasemi-Fasaei, R., Yasrebi, J., & Tavajjoh, M. (2010). Copper release behavior in two calcareous soils amended with three organic materials. *Communications in soil science and plant analysis*, 41(20), 2448-2458.
- Rasteghar, S., and Rahemi, S. (2016). Comparison of Sugars, Various Compounds, Organic Acids and Phenolic Compositions of Date Cultivars Shahani, Payarm and Dari. *Journal of Horticultural Science*. 30:3.217-223 (In Farsi).
- Reyhanitabar, A. (2011) Kinetics of DTPA Extraction of Iron from Some Calcareous Soils of Iran. *Journal of Soil and Water Knowledge* 21(1), 72-83 (In Farsi).
- Reyhanitabar, A., & Karimian, N. (2008). Kinetics of copper desorption of selected calcareous soils from Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 4(3), 287-293.
- Shuman, L. M. (1986). Effect of Ionic Strength and Anions on Zinc Adsorption by Two Soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 50(6), 1438-1442.
- Singh, R.R., Prasad, B., and Choudhary, S.N. (1994) Desorption of copper in calcareous soils. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 42: 555–558.
- Sivasubramania, S. and Talibudeen, O. (1972) Potassium–aluminum exchange in acid soils, I: Kinetics. *Journal of Soil Science*, 23: 163–173.
- Straczek, A., & Hinsinger, P. (2004). Zinc mobilisation from a contaminated soil by three genotypes of tobacco as affected by soil and rhizosphere pH. *Plant and soil*, 260(1-2), 19-32.
- Smith, SR. (1994). Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge- Created soils. I. Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass. *Environment Pollution*. 85: 321-327
- Soltanpour, PN, and Schwab P (1977) A new test for simultaneous extraction of macro- and micro-nutrients in alkaline soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8, 195–207
- Strawn, D. G., and Sparks, D. L. (2000). Effects of soil organic matter on the kinetics and mechanisms of Pb (II) sorption and desorption in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 64(1), 144-156
- Sumner, ME. and Miller WP (1996) Cation exchange capacity and exchange coefficients. In 'Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods'. (Ed. DL Sparks) pp. 1201–1229. (Soil Science Society of America: Madison, WI)
- Taghdis, S., Hejazi Mehrizi, M., & Jalali, V. (2016). Effect of oxalic and citric acids on zinc release kinetic in two calcareous soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 47(22), 2479-2489.
- Tao, S. Chen, Y. J. Xu, F. L. Cao, J. and Li, B. G. (2003). Changes of copper speciation in maize rhizosphere soil, *Environmental Pollution*, 122, 447-454.
- Thomas, GW. (1996) Soil pH and soil acidity. In 'Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods'. (Ed. DL Sparks) pp. 475–490. (Soil Science Society of America: Madison, WI)
- Uren, N. C. and Reisenauer, H. M. (1988). The role of root exudates in nutrient acquisition [J]. *Adv. Plant Nutrient.*, 3: 79–114.
- Wang, Z. Shan, X. Q. and Zhang, S. (2002). Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils, *Chemosphere*, 46 (8), 1163–1171
- Yruela, I. (2005). Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 145-156.
- Yong-liang, C., Yu-qiang, G., Shi-jie, H., Chun-jing, Z., Yu-mei, Z., & Guo-ling, C. (2002). Effect of root derived organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil. *Journal of Forestry Research*, 13(2), 115-118
- Ziaeiian, A. H., & Malakouti, M. J. (2001). Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. In *Plant Nutrition* (pp. 840-841). Springer, Dordrecht.