# ویژگی‌های آزادشدن پتاسیم و ارتباط آنها با شاخص‌های گیاه لوبیا چیتی در تعدادی از خاک‌های آهکی

**حمیدرضا متقیان، علیرضا حسین‌پور و میلاد زارع‌نیا**[1]

1- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

آدرس پست الکترونیکی hrm_61@yahoo.com

**چکیده**

سرعت آزادشدن پتاسیم خاک‌ها در تأمین پتاسیم مورد نیاز برای گیاه مهم است. در این تحقیق به بررسی سینتیک آزادشدن پتاسیم در 15 خاک آهکی و همچنین همبستگی ویژگی‌های آزادشدن پتاسیم و شاخص‌های گیاه لوبیا چیتی (عملکردنسبی، پاسخ گیاه و جذب پتاسیم) پرداخته شد. آزادشدن پتاسیم با استفاده از عصاره‌گیری متوالی و محلول 0/01 مولار $CaCl_2$ به‌مدت 2017 ساعت و دمای 1±25 درجه سانتی‌گراد انجام شد. حداقل و حداکثر مقدار پتاسیم آزادشده به‌ترتیب 111 و $mg\ kg^{-1}$ 411 بدست آمد. معادله‌های مرتبه صفر، مرتبه اول، تابع توانی، الویچ و انتشار پارابولیکی بر داده‌های پتاسیم آزادشده برازش داده شد. بر اساس حداقل خطای استاندارد تخمین و حداکثر ضریب تبیین به‌جز معادله مرتبه صفر سایر معادلات توانایی توصیف آزادشدن پتاسیم را در خاک‌های مورد مطالعه دارند. همبستگی بین عملکرد نسبی، پاسخ گیاه و جذب پتاسیم یا پتاسیم آزادشده و ثابت‌های معادله‌های سینتیکی توصیف‌کننده آزادشدن پتاسیم معنی‌دار است.

**کلمات کلیدی: پتاسیم، سینتیک، شاخص‌های گیاهی**

## مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر پرنیاز ضروری برای گیاهان و حیوانات است. در یک هکتار خاک بین چندین تن تا چند صد تن پتاسیم در ساختمان کانی‌های میکا و فلدسپارها وجود دارد (اسپارکس و هوانگ، 1985). پتاسیم در چهار فرم شامل پتاسیم در محلول خاک، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختمانی توزیع شده است. در تغذیه گیاه و تولید محصول تعیین سرعت آزادشدن پتاسیم بسیار مهم است (هاولین و وست‌فال، 1985). محققان بسیاری مانند حسین‌پور (1383)، لوپز-پینرو و گارسیا ناوارو (1997)، جلالی (2006)، حسین‌پور و صفری (2007) و لو و همکاران (2007) به بررسی سرعت آزادشدن پتاسیم در خاک پرداختند. حسین‌پور (1383) برای آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از اسید سیتریک استفاده کرد. او گزارش کرد که با توجه به بالابودن ضریب تشخیص ($R^2$) و کم‌بودن خطای استاندارد برآورد (SE) سرعت آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی به‌وسیله معادله‌های مرتبه اول، انتشار هذلولوی و تابع نمایی توصیف می‌شود. حسین‌پور و صفری (2007) برای بررسی آزادسازی پتاسیم از کلرید کلسیم 0/01 مولار استفاده کردند. آنها گزارش کردند که معادله الویچ آزادشدن پتاسیم را بهتر توصیف می‌کند. به‌علاوه، ایشان ضریب همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های گیاه سیر با ضرایب ثابت معادله‌های مرتبه صفر و الویچ گزارش کردند. لو و همکاران (2007) از معادله‌های مرتبه اول، تابع توانی، الویچ و انتشار پارابولیکی برای توصیف پتاسیم آزادشده با استفاده از الکترواولترافیلتراسیون استفاده کردند.

## مواد و روشها

در این تحقیق 15 خاک از عمق 30-0 سانتی‌متر خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری انتخاب شد. توزیع اندازه‌ای ذرات (به‌روش هیدرومتر)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره 1 به 2، pH در عصاره 1 به 2، کربن آلی

(اکسیداسیون مرطوب)، کربنات کلسیم معادل (تیتراسیون با اسید) و گنجایش تبادل کاتیونی (استات‌سدیم با pH=7) تعیین شدند. قبل از انجام مطالعه سینتیک، پتاسیم در محلول خاک خارج شد. برای بررسی سینتیک آزادشدن پتاسیم 25 میلی‌لیتر $CaCl_2$ 0/01 مولار به 2/5 گرم نمونه خاک در لوله‌های سانتریفوژ اضافه شد. این نمونه‌ها 30 دقیقه شیک شدند و در دمای 1±25 درجه سانتی‌گراد در انکوباتور قرار داده شدند. پس از 2 ساعت لوله‌های لوله‌های سانتریفوژ از انکوباتور خارج شده و به‌مدت 30 دقیقه شیک و سپس 5 دقیقه سانتریفوژ شدند. محلول صاف رویی جمع‌آوری شد و با استفاده از فلیم‌فتومتر مقدار پتاسیم قرائت شد. سپس 25 میلی‌لیتر $CaCl_2$ 0/01 مولار به لوله‌های سانتریفوژ افزوده شد و داخل انکوباتور برای مطالعه‌های بعدی (4، 8، 24، 48، 72، 96، 144، 168، 336، 504، 672، 840، 1008، 1176، 1344، 1512، 1680، 1848، 2017 ساعت) قرار داده شدند. پس از انجام پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها، معادلات سرعت مرتبه صفر، مرتبه اول، تابع نمایی، انتشار پارابولیکی و الوویچ بر داده‌های تجمعی آزادشدن پتاسیم برازش و بر اساس ضریب تشخیص و خطای استاندارد بهترین مدل‌ها برای توصیف آزادشدن انتخاب و ضرایب این معادلات برآورد می‌شوند.

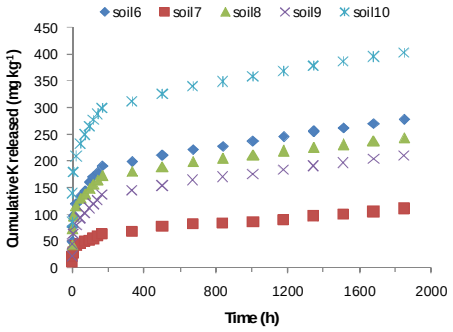
برای تعیین شاخص‌های گیاه از کشت گلخانه‌ای استفاده شد. مطالعه بر اساس طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. هر گلدان 3 کیلوگرم خاک مخلوط‌شده با $100\ mg\ P\ kg^{-1}$ به‌صورت منوکلسیم‌فسفات، $5\ mg\ Fe\ kg^{-1}$ به‌صورت سکوسترین و $5\ mg\ Zn\ kg^{-1}$ به‌صورت سولفات روی پر شد. پتاسیم در دو مقدار 0 و $200\ mg\ K\ kg^{-1}$ به‌صورت سولفات پتاسیم استفاده شد. سپس دانه‌های لوبیا چیتی کشت شدند و رطوبت آنها در طول کشت در حد ظرفیت زراعی نگهداری شد. پس از 12 هفته بخش‌های هوایی گیاه برداشت شدند و در دمای 70 درجه سانتی‌گراد خشک شدند و برای اندازه‌گیری پتاسیم آماده گردیدند. شاخص‌های گیاهی شامل پتاسیم جذب‌شده، عملکرد نسبی و پاسخ گیاه در نظر گرفته شدند.

## نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه‌شده در جدول 1 نشان داده شده است. خاک‌های مورد مطالعه دارای دامنه گسترده‌ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی هستند. مقدار رس بین 21 تا 53٪، مقدار سیلت بین 20 تا 52٪ و مقدار شن بین 13 تا 59٪ است. خاک‌های مورد مطالعه دارای pH بین 7/7 تا 8/1 و EC بین 0/11 تا $0/19\ dS\ m^{-1}$ هستند. گنجایش تبادل کاتیونی خاک‌ها بین 0/1 تا $24/3\ cmol_{(c)}\ kg^{-1}$ است. همچنین درصد کربنات کلسیم معادل خاک‌ها بین 6 تا 40٪ است. شکل (1) رابطه پتاسیم آزادشده با زمان را در تعدادی از خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد، سایر خاک‌ها نیز دارای روند مشابه هستند. خاک‌های مورد مطالعه دارای مقدار پتاسیم آزادشده $111\ mg\ kg^{-1}$ تا $411\ mg\ kg^{-1}$ هستند. با توجه به ضریب تشخیص و خطای استاندارد تخمین معادله‌های الویچ ($mg\ kg^{-1}$ SE=8/71 و $R^2$=0/978)، تابع توانی ($SE=10/89\ mg\ kg^{-1}$ و $R^2$=0/948)، انتشار پارابولیکی ($mg\ kg^{-1}$ SE=17/86 و $R^2$=0/911) و مرتبه اول ($SE=25/26\ mg\ kg^{-1}$ و $R^2$=0/937) به‌عنوان معادله‌هایی که توانایی توصیف آزادشدن پتاسیم را در خاک‌های مورد مطالعه دارند شناخته شدند.

**جدول (1) برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه‌شده**

| شماره خاک | pH | EC ($dS\ m^{-1}$) | کربن آلی (٪) | کربنات کلسیم معادل (٪) | رس | گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol_{(c)}\ kg^{-1}$) | پتاسیم آزادشده پس از 2017 ساعت ($mg\ kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8/1 | 0/13 | 0/58 | 29 | 35 | 20/1 | 242 |
| 2 | 7/9 | 0/17 | 0/56 | 34 | 33 | 15/9 | 260 |
| 3 | 7/7 | 0/19 | 0/80 | 23 | 47 | 15/5 | 347 |
| 4 | 8/1 | 0/11 | 0/80 | 17 | 41 | 15/8 | 123 |
| 5 | 8/0 | 0/17 | 1/30 | 26 | 39 | 19/3 | 202 |
| 6 | 8/0 | 0/16 | 0/45 | 10 | 21 | 16/6 | 284 |
| 7 | 7/9 | 0/19 | 1/53 | 31 | 45 | 24/3 | 115 |
| 8 | 7/9 | 0/12 | 0/64 | 25 | 35 | 18/0 | 249 |
| 9 | 7/9 | 0/11 | 0/65 | 17 | 35 | 19/2 | 215 |
| 10 | 7/9 | 0/14 | 0/74 | 18 | 31 | 0/1 | 411 |
| 11 | 7/9 | 0/17 | 0/67 | 6 | 33 | 19/3 | 276 |
| 12 | 8/1 | 0/16 | 0/66 | 40 | 53 | 16/7 | 111 |
| 13 | 7/9 | 0/16 | 0/85 | 35 | 35 | 17/8 | 313 |
| 14 | 7/9 | 0/13 | 0/55 | 35 | 33 | 24/3 | 147 |
| 15 | 7/9 | 0/15 | 1/03 | 27 | 35 | 21/8 | 264 |




**شکل 1- رابطه پتاسیم آزادشده با زمان در خاک‌های شماره 6 -10.**

در معادله‌های بیان‌شده b نشان‌دهنده شیب معادله‌ها است و شاخص سرعت آزادشدن پتاسیم است. ضریب b در معادله الویچ دارای دامنه بین 13/45 تا $42/06\ mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ است. تفاوت در مقدار این ضریب ثابت نشان‌دهنده تفاوت خاک‌ها در تأمین پتاسیم است. جلالی (2006) و لو و همکاران (2007) گزارش کردند که آزادشدن پتاسیم با معادله توانی توصیف می‌شود. ضریب b در تابع توانی از $0/181\ mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ تا $0/371\ mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ در بین خاک‌ها متغیر است. ضریب b در این معادله کمتر از 1 است که نشان می‌دهد سرعت آزادشدن پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه با زمان کاهش می‌یابد. لو و همکاران (2007) گزارش کردند که آزادشدن پتاسیم با معادله توانی توصیف می‌شود. برازش مدل انتشار پارابولیکی بر پتاسیم آزادشده نشان‌دهنده این است که آزادشدن پتاسیم بوسیله انتشار کنترل می‌شود (جاردین و اسپارکس، 1984). در این معادله ضریب b دارای دامنه $1/947\ mg\ kg^{-1}\ h^{-1/2}$ تا $5/710\ mg\ kg^{-1}\ h^{-1/2}$ است. لو و همکاران (2007) گزارش کردند که آزادشدن پتاسیم با معادله انتشار پارابولیکی توصیف می‌شود. ضریب b در معادله مرتبه اول در تمام خاک‌های مورد مطالعه دارای مقدار $0/001\ mg\ kg^{-1}\ h$ است. محققانی مانند مارتین و اسپارکس (1983) و لو و همکاران (2007) نیز از معادله مرتبه اول در برآورد سرعت آزادشدن پتاسیم استفاده کردند. ضریب همبستگی بین

پارامترهای معادله‌های سینتیکی توصیف‌کننده آزادشدن پتاسیم و پتاسیم آزادشده با شاخص‌های گیاه لوبیا در جدول (2) نشان داده شده است. همانطور که این جدول نشان می‌دهد بین پتاسیم آزادشده با عملکرد نسبی و جذب پتاسیم همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. درحالی‌که بین پتاسیم آزادشده با پاسخ گیاه همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد. بین همه ضرایب ثابت در معادلات سینتیک آزادشدن پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه و شاخص‌های گیاهی ضریب همبستگی معنی‌داری وجود دارد. همبستگی بین ضرایب a و b در معادله‌های مرتبه اول، انتشار پارابولیکی، الویچ و ضریب a در تابع توانی با عملکرد نسبی و جذب پتاسیم مثبت و معنی‌دار است. درحالیکه رابطه بین ضرایب a و b در معادله‌های مرتبه اول، انتشار پارابولیکی، الویچ و ضریب b در تابع توانی با عملکرد نسبی و جذب منفی و با پاسخ گیاه مثبت است. لوپز-پینرو و گارسیا ناوارو (1997) گزارش کردند که ضریب b در معادله الویچ با مقدار پتاسیم جذب شده در کشت گلدانی رابطه معنی‌داری دارد.

**جدول (2)ضریب همبستگی بین ویژگی‌های آزادشدن پتاسیم و شاخص‌های گیاه لوبیا چیتی**

| | | عملکرد نسبی (٪) | پاسخ گیاه ($g\ pot^{-1}$) | پتاسیم جذب‌شده ($mg\ pot^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|
| مرتبه اول | a | 0/768** | -0/571* | 0/742** |
| | b | - | - | - |
| انتشار پارابولیکی | a | 0/796** | -0/736* | 0/747** |
| | b | 0/796** | -0/593* | 0/763** |
| الویچ | a | 0/857** | -0/832** | 0/602* |
| | b | 0/811** | -0/621* | 0/756** |
| تابع توانی | a | 0/789** | -0/736** | 0/701** |
| | b | -0/814** | 0/821** | -0/601* |
| پتاسیم آزادشده | | 0/814** | -0/664* | 0/706** |

** معنی‌دار در سطح 1٪، معنی‌دار در سطح 5٪

## منابع

حسین‌پور، ع.ر.، 1383. کاربرد معادلات سینتیکی در توصیف سرعت آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی در شماری از خاک‌های همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال 8، شماره 3، صفحه 85-93.

Havlin, J.L. and Westfall, D.G. 1985. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 49: 366-370.

Hosseinpur, A.R. and Safari Sinegani, A.A., 2007. Soil potassium-release characteristics and the correlation of its parameters with garlic plant indices. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 38: 107-118.

Jalali, M., 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. Geoderma, 135: 63-71.

Jardin, P.M. and Sparks, D.L. 1984. Potassium-calcium exchange in a multireactive soil system. 1. Kinetics. Soil Sci. Soc. Am. J., 47: 39-45.

Lopez-Pineiro, A. and Garcia Navarro, A. 1997. Potassium release kinetics and availability in unfertilized vertisols of south western Spain. Soil Science, 162: 912- 918.

Lu, X.N., Xu, J.M., Ma, W.Z. and Lu, Y.F. 2007. Comparison of seven kinetic equations for K release and application of kinetic parameters. Pedosphere, 17(1): 124-129.

Sparks, D.L. and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. In: Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture. Soil Science Society of America Journal, Madison, WI, Pp. 201-276.