



## مطالعه سینتیک رهاسازی فسفر برخی از خاک باغات انگور شهرستان ملایر

زینب نادری<sup>۱</sup>، محبوبه ضرابی<sup>۲</sup>، زهرا کلاه چی<sup>۳</sup>، بهنوش فرخ زاده<sup>۴</sup>، مریم کریمی<sup>۱</sup>  
 ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه ملایر، ۲- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه ملایر، ۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه همدان، ۴- استادیار گروه مرتع و آبخیز داری دانشگاه ملایر

### چکیده

بررسی واکنش‌های رهاسازی در خاک در طی زمان جهت اطلاع از مقدار فسفر فراهمی برای گیاه و احتمال ورود فسفر به رواناب از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این تحقیق مطالعه سرعت رهاسازی فسفر در ده نمونه از خاک‌های باغات انگور شهرستان ملایر در دو عمق (۰ - ۳۰) A و (۳۰ - ۶۰) B با استفاده از سه عصاره گیر کلسیم کلرید، اسید مالیک و اسید اگزالیک ۰/۱ مولارد مدت زمان ۷۲ ساعت بود. بعد از گذشت ۷۲ ساعت مقدار فسفر آزاد شده در عمق A بین ۴/۳۴ - ۲/۶۶۰ و عمق B بین ۱/۲۹ - ۰۷/۴۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود. فسفر تجمعی آزاد شده بوسیله شش مدل سینتیکی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که رهاسازی فسفر توسط معادلات الوویچ، تابع نمایی، مرتبه اول و پخشیدگی پارابولیک به خوبی قابل توصیف بود. همچنین سرعت رهاسازی فسفر در خاک‌ها با استفاده از اسید اگزالیک بیشترین مقدار را داشته است.

واژه‌های کلیدی: سینتیک، رهاسازی، فسفر، باغ انگور، ملایر

### مقدمه

انگور یکی از مهم‌ترین محصولات باغی در دنیا و ایران بشمار می‌رود (کاووسی و حسینی فرهی، ۱۳۸۶). ایران یکی از مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده انگور در جهان است. ایران رتبه دهم تولیدکننده انگور و کشمش را در جهان دارد. شهرستان ملایر نیز رتبه دوم کشور در تولید انگور را بعد از استان فارس دارد. وجود تعداد لیبین عناصر غذایی در باغ‌های میوه، عامل مهمی در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه‌های تولیدی می‌باشد (گودرزی و حسینی فرهی، ۱۳۸۷). هر چه تغذیه نامتعادل تر باشد، عملکرد میوه‌ها کمتر خواهد شد. (مجمیع‌الملکوتی، ۱۳۸۰). فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر پر مصرف مورد نیاز گیاهان بوده که حدود ۱۵/۰ درصد وزن خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). سالانه برای هر هکتار تا ۹۰ تا ۲۲۵ کیلوگرم  $P_2O_5$  لازم است. ویژگی‌های خاک مثل مقدار رس، پهاش، فسفر فراهمی خاک، محتوای ماده آلی خاک و مقدار کربنات کلسیم در خاک‌های قلیایی زیست فراهمی فسفر را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Shafqat and pierznski, ۲۰۱۴). فسفر در خاک تحت تاثیر واکنش‌های گوناگونی مانند جذب سطحی، رسوب، تثبیت و رهاسازی قرار دارد. که از جمله عوامل موثر بر این واکنش‌ها زمان می‌باشد (بیابانکی و حسین پور، ۱۳۸۶). بررسی واکنش‌های رهاسازی فسفر در خاک در طی زمان برای تعیین تغییرات فسفر قابل استفاده گیاه در خاک دارای اهمیت است (خورشید و همکاران، ۱۳۸۷). درک سرعت آزاد شدن فسفر از خاک‌ها می‌تواند در کاهش ورود فسفر به روان آب اهمیت داشته است (بیابانکی و حسین پور، ۱۳۸۶). تلفات فسفر از طریق روان آب سطحی بیشتر از جریان زیرزمینی است و این تلفات احتمالاً با مصرف کود فسفوری بیشتر می‌گردد. بررسی واکنش‌های رهاسازی فسفر در خاک در طی زمان برای تعیین تغییرات فسفر قابل استفاده گیاه در خاک دارای اهمیت است (خورشید و همکاران، ۱۳۸۷). معادلات متعددی برای توصیف سرعت رهاسازی عناصر در کانی‌های رسی و خاک استفاده شده است (بیابانکی و حسین پور، ۱۳۸۶). این معادلات شامل معادله مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم، الوویچ ساده، پخشیدگی پارابولیک و تابع نمایی می‌باشند. جدول ۱ معادله‌های سینتیکی استفاده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. معادله‌های سینتیکی استفاده شده

معادلات سینتیکی	مدل
$P_t - P_i = a - k_d \cdot t$	معادله مرتبه صفر
$\ln(P_t - P_i) = a - k_d \cdot t$	معادله مرتبه اول
$P_t = a + k_d \cdot t / \lambda$	معادله مرتبه دوم
$P_t = a + b \ln t$	معادله الوویچ ساده
$P_t / P_i = a + R \cdot t^{\lambda}$	معادله پخشیدگی پارابولیک
$\ln P_t = \ln a + b \ln t$	معادله تابع نمایی

$P_t$ : فسفر آزاد شده در زمان  $t$ ;  $P_i$ : فسفوری که می‌تواند در حال تعادل آزاد شود.  
 $k_d, R, b$ : ضرایب سرعت معادلات سینتیکی  $a$ : عرض از مبدا معادلات  $t$ : زمان



## چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه

هدف از این تحقیق بررسی سینتیک رهاسازی فسفر از خاک‌های تحت کشت انگور شهرستان ملایر به منظور ارزیابی وضعیت فسفر و مدیریت بهتر باغات انگور از نظر مصرف کود و مقایسه معادلات سینتیکی و انتخاب بهترین معادله جهت توصیف آزاد شدن فسفر از خاک‌ها می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در ابتدا ۱۰ نمونه خاک (عمق ۳۰ - ۶۰ - ۳۰ سانتی متری) با بیشترین پراکنش جغرافیایی در باغات شهرستان ملایر جمع آوری شده و پس از اندازه‌گیری کلیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (Rowell, ۱۹۹۴)، سرعت رهاسازی فسفر با استفاده از سه عصاره‌گیر کلسیم کلرید، اسید مالیک و اسید اگزالیک ۰/۱ مولار اندازه‌گیری شد. مطالعه رهاسازی فسفر به روش عصاره‌گیری متوالی در مدت زمان ۲۵/۰ تا ۷۲ ساعت انجام شد. در پایان معادلات سینتیکی مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم، الویچ ساده، تابع نمایی و پخشیدگی پارابولیکی (جدول ۱) بر مقدار فسفر رهاسازی شده برازش داده شد و بر اساس ضرایب تشخیص و اشتباه استاندارد برآورد معادلاتی که قادر به توصیف آزاد شدن فسفر بودند انتخاب شد.

### نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در عمق A و B در جدول ۲ آورده شده است. خاک‌های مورد مطالعه دامنه تغییرات رس و کربنات کلسیم خاک‌ها به ترتیب بین ۵/۲۱ تا ۵/۴۷ و ۵/۱۰ تا ۵/۴۴ درصد می‌باشد. تغییرات پ‌هاش خاک‌ها بین ۳۵/۷ تا ۹۸/۷ می‌باشد ماده آلی خاک‌های مورد مطالعه بین ۱ تا ۱/۳ درصد متغیر می‌باشد. غلظت فسفر اولسن خاک‌ها بین ۶/۱۱ تا ۳۶ بود، غلظت فسفر اولسن در عمق A نسبت به عمق B بدلیل استفاده از کودهای شیمیایی و فسفات بیشتر می‌باشد.

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	pH	EC	OM	رس	شن	سیلت	کربنات کلسیم معادل	CaCl <sub>2</sub> -P	Olsen-P	CEC
		dS m <sup>-1</sup>		%			mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	Cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
عمق ۳۰-۰	۹۸/۷-	۲۴/۰-	۱/۳-	۵/۴۳-	۵۴-	۵/۴۴-	۲/۳۶-	۸/۵-	۳۶-	۳/۲۴-
	۴۱/۷	۱۲/۰	۱/۱	۵/۲۱	۲۴	۱۸	۸	۲/۲	۴/۱۳	۳/۱۷
عمق ۶۰-۳۰	۹۳/۷-	۲۵/۰-	۷/۱-۱	۵/۴۷-	۵۴-	۵/۴۴-	۵/۳۷-	۶/۸-	۵/۳۴-	۲/۲۴-
	۳۵/۷	۱۱/۰		۵/۲۱	۲۴	۱۶	۷/۱۰	۵/۱	۶/۱۱	۱/۱۴

مقدار تجمعی فسفر رهاسازی توسط کلسیم کلرید با میانگین ۳۹/۵۵ میلی گرم در کیلوگرم خاکبدست آمد. میانگین فسفر تجمعی رها شده توسط عصاره‌گیرهای متوالی اسید مالیک و اسید اگزالیک در مدت ۷۲ ساعت به ترتیب ۱۶/۲۴۹ و ۴۹/۴۱۸ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود. نتایج نشان می‌دهند که عصاره‌گیرها توانایی مختلفی در رهاسازی فسفر را دارند. بیشترین میانگین فسفر عصاره‌گیری شده در اسید اگزالیک و سپس اسید مالیک و کمترین مربوط به کلرید کلسیم می‌باشد.

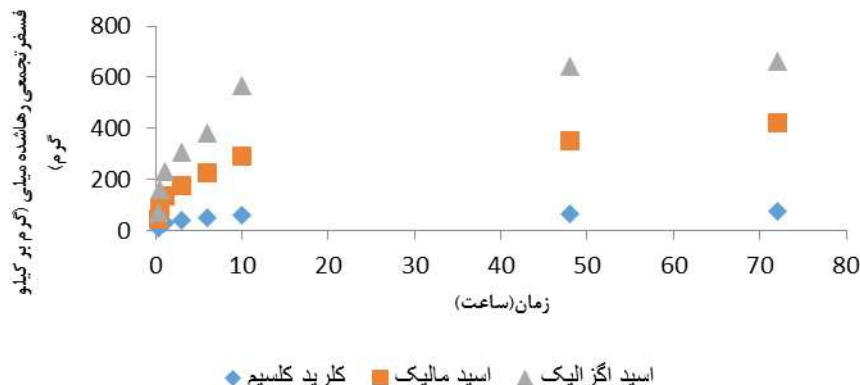
اسید اگزالیک از اسید مالیک، اسیدی قوی‌تر می‌باشد. توانایی مختلف اسید مالیک و اسید اگزالیک در رهاسازی فسفر به مقادیر مختلف یون‌های هیدروژن و لیگاندهای آلی تولید شده از تجزیه این دو اسید وابسته است. غلظت یون‌های هیدروژن و لیگاندهای آلی حاصل از تجزیه اسید اگزالیک بیشتر از اسید مالیک است. با توجه به جدول ۳ بیشترین و کمترین مقدار فسفر تجمعی رهاسازی شده در هر سه عصاره‌گیر به ترتیب مربوط به خاک‌های شماره ۹ و ۱۰ می‌باشد. بیشترین و کمترین فسفر اولسن نیز به ترتیب در خاک‌های شماره ۹ و ۱۰ بوده است. در جدول ۳ مقدار فسفر تجمعی رهاسازی شده توسط سه عصاره‌گیر ارائه شده است.

جدول ۳. مقدار کل فسفر رهاسازی شده توسط سه عصاره‌گیر پس از ۷۲ ساعت

عمق خاک	عصاره‌گیر	کلرید کلسیم	اسید مالیک	اسید اگزالیک
۰ - ۳۰		۳۹/۵۵	۱۶/۲۴۹	۴۹/۴۱۸
۳۰ - ۶۰		۱۷/۴۹	۱۹/۲۱۱	۹۸/۲۹۲

شکل ۱ روند فسفر تجمعی رهاسازی توسط سه عصاره‌گیر در خاک شماره ۹ را نشان می‌دهد.

## چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه



شکل ۱. روند فسفر تجمعی رهاسازی توسط سه عصاره گیر در خاک شماره ۹

شش معادله سینتیکی شامل معادله مرتبه صفر، اول، دوم، الوویچ ساده، پخشیدگی پارابولیک و تابع بر داده‌های تجمعی برازش داده شدند. از میان معادلات معادلات الوویچ ساده، مرتبه اول، تابع نمایی و پخشیدگی پارابولیک به خوبی توانستند رهاسازی تجمعی فسفر از خاک‌های مورد مطالعه را توصیف نمایند. دامنه تغییرات ثابت رهاسازی و عرض از مبدا معادلات سینتیکی برای سه نوع عصاره گیر کلسیم کلرید، اسید مالیک و اسید اگزالیک در جدول شماره ۴ آورده شده است.

جدول ۴. میانگین ثابت رهاسازی و عرض از مبدا معادلات سینتیکی سه عصاره گیر

مرتبه اول			الووچ ساده			تابع نمایی			پخشیدگی پارابولیک			عصاره گیر
R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>	b	a	
۰.۰۳	۴	۵/۳	۰.۹۸	۱/۱۰	۳/۱۷	۰.۸۹	۳۶/۲	۶/۲	۰.۸۶	۰.۹۵	۲۴/۰	کلسیم کلرید ۰-۳۰ ۶۰-۳۰
۰.۰۳	۳	۴/۳	۰.۹۸	۹/۷	۵/۱۴	۰.۸۹	۳۶/۲	۵/۲	۰.۸۷	۰.۹۷	۲۲/۰	
۰.۰۵	۱/۵	۱/۵	۰.۹۶	۱/۴۰	۷/۶۷	۰.۹۱	۴۳/۴	۰/۴	۰.۸۸	۱/۰	۱۸/۰	اسید مالیک ۰-۳۰ ۳۰-۶۰
۰.۰۴	۹/۴	۹/۴	۰.۹۶	۹/۳۴	۸/۵۲	۰.۹۰	۴۵/۲	۲/۱	۰.۸۹	۱/۰	۱۵/۰	
۰.۰۵	۳/۵	۳/۵	۰.۹۲	۷۸/۶	۷۴/۱۷	۰.۸۵	۳۲/۴	۸/۴	۰.۷۵	۱۲/۰	۳۴/۰	اسید اگزالیک ۰-۳۰ ۳۰-۶۰
۰.۰۵	۵	۵	۰.۹۲	۰/۴	۸/۱۱۱	۰.۸۳	۳۴/۴	۳/۴	۰.۷۷	۰.۸/۰	۳۱/۰	

بالا بودن ثابت رهاسازی و عرض از مبدا در عصاره گیرهای اسیدی در مقایسه با کلرید کلسیم از طرفی بالا بودن ثابت سرعت رهاسازی و عرض از مبدا در اسید اگزالیک نسبت به اسید مالیک را می‌توان به نوع عصاره گیرها، مکانیزم عمل آن‌ها در عصاره گیری نسبت داد. بین ضرایب معادلات مربوط به آزاد شدن فسفر با فسفر اولسن و پهاش خاک‌های مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری وجود داشت.

Isal-Espinoza et al (۲۰۱۳) طی تحقیقات خود در بررسی سرعت رهاسازی فسفر خاک‌های اصلاح شده با مواد زیستی بهترین معادلات توصیف کننده رهاسازی فسفر را معادله تابع نمایی و انتشار پارابولیک به ترتیب با ضریب همبستگی ۰.۸۹/۰ و ۰.۹۹/۰ گزارش نمودند و ضریب b معادله پارابولیک را (۰.۲۸۸/۰ - ۰.۲۳۸۴/۰) میلی گرم بر کیلوگرم بر مجذور ساعت گزارش نمودند. Jalali and et al (۲۰۱۳) در مطالعات خود به بررسی رهاسازی فسفر خاک‌های استان همدان با انواع کاربری‌ها مانند: باغ، کشاورزی و مرتع پرداختند. آنها بیشترین رهاسازی فسفر را در خاک‌هایی با کاربری سیب زمینی و کمترین رهاسازی فسفر در خاک‌هایی با کاربری مرتع گزارش نمودند. آنها گزارش نمودند سینتیک رهاسازی فسفر در ابتدا سریع بوده و سپس سرعت آن کاهش می‌یابد. آنها معادله انتشار پارابولیک را بهترین معادله توصیف کننده رهاسازی فسفر گزارش نمودند و دامنه ضریب b را برای معادله پارابولیک (۰.۷۰۷/۰ -



## چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه

۱۱۸/۹ میلی گرم بر کیلوگرم بر مجذور ساعت گزارش نمودند. بیابانکی و حسین پور (۱۳۸۶) طی تحقیقات خود به بررسی بررسی رها سازی فسفر خاک های استان همدان بوسیله عصاره گیری مرحله ای بی کربنات سدیم انجام دادند به این نتیجه رسیدند که رها سازی فسفر توسط معادلات پخشیدگی پارابولیکی، مرتبه اول و تابع نمایی به خوبی قابل توصیف است.

### نتیجه گیری

نتایج مطالعات نشان داد که میانگین فسفر تجمعی رها شده توسط اسیدها بیشتر از نمک کلرید کلسیم می باشد. واسیدها توانایی بیشتری در رها سازی فسفر از خاک ها دارند. لذا ترشح این اسیدها توسط ریشه گیاه می تواند فراهمی فسفر را در خاک بالاتر ببرد. معادلات الوویج ساده، مرتبه اول، تابع نمایی و پخشیدگی پارابولیک به خوبی توانستند رها سازی فسفر از خاک را توصیف نمایند.

### منابع

- بیابانکی، ف؛ حسین پور، ع، ر. (۱۳۸۶). سینتیک آزاد شدن فسفر و هم بستگی ضرایب مدل های سینتیکی با برخی ویژگی های خاک و شاخص های گیاهی در تعدادی از خاک های همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره ۴۲. خورشید، م؛ حسین پور، ع، ر؛ اوستان، ش. (۱۳۸۷). تاثیر لجن فاضلاب بر جذب فسفر قابل استفاده در برخی از خاک های آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دوازدهم، شماره ۴۶.
- کاووسی، ب؛ حسینی فرهی، م. (۱۳۸۷). زمان گل انگیزی و اثرهای محلول باشی با عناصر ازت، روی، بور بر ویژگی های کیفی و عملکرد انگور (*Vitis vinifera L*) رقم سیاه در سی سخت. مجله پژوهش در علوم کشاورزی. جلد ۴، ۷۳-۸۲.
- گودرزی، ک. ف؛ حسینی فرهی، م. (۱۳۸۷). ارزیابی تعادل تغذیه ای در تاکستان های استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش دریس. مجله علوم و فنون باغبانی ایران، جلد ۹، شماره ۱، ۴۵-۵۸.
- مجیدی، ع. ف؛ ملکوتی، م، ج. (۱۳۸۰). مقایسه روش های کاربرد عناصر کم مصرف در ارتباط با عملکرد کیفی میوه انگور. مجله علوم خاک و آب، ۱۸۰-۱۹۰.
- ملکوتی، م، ج؛ کشاورز، پ؛ کریمیان، ن، ع. (۱۳۸۷). روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
- Jalali, M., Ahmadi, N., Zinli, M. (۲۰۱۱). Kinetics of phosphorus release from calcareous soils under different land use in Iran. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, ۱۷۴, ۳۸-۴۶.
- Islas-Espinoza, M., Solis, M., Esteller, M, V. (۲۰۱۳). Phosphorus release kinetics in a soil amended with biosolids and vermicompost. *Environmental Earth Sciences*, ۱-۱۱.
- Shafqat, M., pierznski, G. (۲۰۱۴). The freundlich adsorption isotherm constants and prediction of phosphorus bioavailability as affected by different phosphorus sources in two Kansas soils. *Chmosphere*, ۷۲-۸۰.
- Rowell, D, L. (۱۹۹۴). Soil science : methods and applications. Longman, London .۱۰

### Abstract

Survey reactions phosphorus release in the soil over time to the notice of availability for the plant and the possibility of phosphorus runoff is important. The objective of this study was to investigate the release of phosphorus in ۱۰ soils samples vineyard of Malayer city in two depths (۰-۳۰) and (۳۰-۶۰) with three extractors calcium chloride, malic acid and oxalic acid  $0.01M$  over time ۷۲ hours. After ۷۲ hours the amount of phosphorus released into the A depth between  $34.4 - 66.0.2$  and B depth between  $29.1 - 454.07$  mg/kg was variable. The cumulative Prelease was evaluated by six kinetics. The results showed that P release by Elovich equations, power function, first order and parabolic diffusion law was described well. The soil phosphorus release rate using oxalic acid had the highest.