**پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران**
۶ تا ۸ شهریور ۱۳۹۶ محور مقاله: شیمی و حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه

# توسعه‌ی توابع انتقالی برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی با نگرشی بر ماده آلی

فاطمه روستائی[1*] و یاسر استواری
۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی- علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج و دانش‌آموخته دکتری مهندسی کشاورزی- علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
Email: roostaei.fatemeh@gmail.com

## چکیده

ظرفیت تبادل کاتیونی از مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک است که اندازه‌گیری مستقیم آن با دشواری همراه است. از اینرو هدف این مطالعه، توسعه توابع انتقالی به عنوان روش غیرمستقیم برآورد CEC در خاک‌های دشت مرودشت می‌باشد. در این راستا، ۷۷ نمونه خاک جمع‌آوری و چگالی واقعی، اسیدیته، اجزای بافت خاک، ماده آلی، درصد اشباع و CEC اندازه‌گیری شد. داده‌ها به ۲ دسته ۵۴تایی جهت توسعه و ۲۵تایی جهت اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیون خطی تقسیم شدند. دقت پیش‌بینی مدل‌ها با خطوط ۱:۱ و آماره‌های $R^2$، RMSE و ME ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تابع انتقالی توسعه‌یافته براساس ماده آلی، به سبب داشتن بالاترین همبستگی (r=۰/۶۴*)، بهترین تخمین CEC (ME=۰/۷۰۵ و RMSE=۳/۹۰) را ارائه می‌دهد؛ در حالیکه علیرغم همبستگی مثبت رس(r=۰/۳۳*)، ارتباط آن با CEC احتمالا غیرخطی و غیرقابل تشخیص با رگرسیون خطی می‌باشد و مدل توسعه‌یافته براساس آن کم‌برازشی (ME=-۲۰/۴) و خطای بالا (RMSE=۲۱ ) در تخمین نشان میدهد.

واژه های کلیدی: ویژگی‌های دیریافت خاک، توابع انتقالی خاک، رگرسیون، stepwise، Statistica.

## مقدمه

ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) برابر با مقدار کل کاتیون‌های قابل تبادلی است که در یک pH مشخص، در واحد وزن خاک نگه‌داری می‌شود (Seybold et al.,2005). گنجایش تبادل کاتیونی از جمله مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک است که نقشی تعیین‌کننده در حاصلخیزی خاک (به واسطه‌ی جذب و رهاسازی آب و مواد غذایی گیاه)، مدیریت آلودگی خاک (به واسطه‌ی تعیین خطر بالقوه‌ی فلزات سنگین و برخی آلاینده‌های آلی کاتیونی) و کیفیت و بهره‌وری خاک[1] دارد (میرخانی و همکاران، ۱۳۸۴؛ معماریان‌فرد و بیگی هرچگانی، ۱۳۸۸؛ هزارجریبی و همکاران، ۱۳۹۲؛ استواری و همکاران، ۱۳۹۴) که خود متأثر از رس، ماده آلی و به میزان کمتری تحت تاثیر سیلت خاک می‌باشد (Manrique et al., 1991 ؛Martel et al., 1978). لازم به ذکر است که از پارامتر CEC، در اکثر مدل‌های محیط زیستی و خاک به عنوان یک ورودی استفاده می‌شود ( Keller et al., 2001).

اندازه‌گیری CEC یک روند زمانبر و پرهزینه است؛ از این‌رو محاسبه‌ی چنین ویژگی‌هایی (ویژگی‌های سخت‌یافت خاک[2]) با استفاده از روابط رگرسیونی و خصوصیات زودیافت خاک[3]، تحت عنوان توابع انتقالی خاک[4] (PTFs) (Schaap, 2004)، نخستین بار توسط *Bouma* (Keller et al., 2001) معرفی گردید؛ یک تابع انتقالی پارامتریک معمولا یک رابطه بین متغیر وابسته (x) و متغیرهای مستقل (Y) است (McBeatney et al., 2002). در سال‌های گذشته، توابع انتقالی متعددی به منظور برآورد CEC با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پایه‌ای خاک ارائه شده است و در اکثر توابع انتقالی معرفی شده، CEC، تابع‌ای خطی از ماده آلی و مقدار رس است (Keller et al., 2001؛ Horn et al., 2005؛ مهربانیان و همکاران، ۱۳۸۹)؛ به

1. Soil quality and productivity
2. Difficult-to-measure soil properties
3. Readily available soil properties
4. Pedotransfer Functions

عنوان مثال، کریمیان (۱۳۷۵)، در مطالعه‌ی ۱۵۰ نمونه خاک آهکی استان فارس، سهم مواد آلی، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی را پس از اکسایش مواد آلی با آب اکسیژنه به طور مسقیم اندازه‌گیری کرد؛ همچنین، وی معادلات رگرسیونی چند متغیره‌ای توسعه داد و سهم رس و مواد آلی را بر ظرفیت تبادل کاتیونی محاسبه نمود. همچنین مهربانیان و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ی بررسی کارایی توابع انتقالی در تخمین CEC خاک‌های گچی و آهکی استان یزد، از دو مدل رگرسیون چند متغیره و شبکه‌ی عصبی مصنوعی با دو متغیر ورودی، اجزاء بافت خاک و کربن آلی، استفاده کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با RMSE=۱/۰۴ و $R^2$=۰/۹۷ کارایی بالاتری نسبت به رگرسیون پایه دارد که علت آن به وجود روابط غیرخطی احتمالی میان متغیر وابسته و پیش‌بینی‌شونده نسبت داده شد.

در مطالعه‌ای که استواری و همکاران (۱۳۹۴) در راستای ارزیابی روش‌های رگرسیون درختی و خطی چندگانه در برآورد CEC، انجام دادند از ویژگی‌های اجزاء بافت خاک، pH، ماده آلی و چگالی ظاهری در ۱۰۶ نمونه خاک UNSODA[5] استفاده شد. یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که در تابع انتقالی برآورد CEC با استفاده از روش رگرسیونی، تنها ضرایب ماده آلی (۳/۱۸۳) و درصد رس (۰/۲۷۴)، که دارای بیشترین ضریب همبستگی با ظرفیت تبادل کاتیونی است، معنی‌دار شده و مدل رگرسیونی براساس این دو پارامتر توسعه یافته است. آنها گزارش کردند که از میان روش‌های رگرسیون خطی، مدل پیشنهادی کارایی بالاتری نسبت به مدل‌های بل و ونکولن و بروسما و همکاران دارد.

با توجه به اهمیت اطلاع از ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به عنوان فاکتور بیانگر وضعیت حاصلخیزی خاک و دشواری‌های اندازه‌گیری مستقیم آن از یک سو و نقش مهم دشت مرودشت در بخش کشاورزی از سوی دیگر، اهمیت کاربرد روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری گنجایش تبادل کاتیونی را در این منطقه‌ی حاصلخیز بیش از پیش افزایش می‌دهد. لذا هدف از این مطالعه توسعه تابع انتقالی برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی به عنوان روش غیرمستقیم اندازه‌گیری در خاک‌های دشت مرودشت می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در مطالعه‌ی حاضر، از سه دشت، دشتک و درودزن، مائین- بیدگل و دشت‌بال و لانه‌طاووس در محدوده شهرستان مرودشت (با طول‌های جغرافیایی ′۱۵ و°۵۲ تا ′۲۷ و°۵۳ شرقی و عرض‌های ′۱۹ و°۲۹ تا ′۲۵ و°۳۰ شمالی در حوضه آبریز بختگان) نمونه‌برداری صورت گرفت.

تعداد کل ۷۷ نمونه از عمق سطحی ۳۰-۰ سانتی‌متر به طور تصادفی جمع‌آوری گردید. در ابتدا خاک‌ها هوا خشک شد و از الک ۲ میلی‌متری عبود داده شدند. خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک در این مطالعه شامل اسیدیته با استفاده از دستگاه pH متر، بافت خاک به روش هیدرومتری، درصد رطوبت اشباع[6] (SP)، مواد آلی به روش اکسیداسیون تر و ظرفیت تبادل کاتیونی با روش جایگزینی با آمونیوم اندازه‌گیری شد. دامنه مقادیر خصوصیات اندازه‌گیری شده در جدول (۱) ارائه شده است.

**جدول ۱- خلاصه آماری متغیرهای CEC و سایر خصوصیات زودیافت خاک**

| ویژگی | واحد | میانگین | میانه | کمینه | بیشینه | انحراف معیار | ضریب تغییرات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چگالی واقعی | $gr/cm^3$ | ۲/۲۷ | ۲/۲۷ | ۱/۷۰ | ۲/۷۰ | ۰/۱۷۱ | ۷/۵۵ |
| شن | ٪ | ۱۷/۲ | ۱۲/۴ | ۱/۳۰ | ۶۸/۳ | ۱۵/۳ | ۸۸/۹ |
| سیلت | ٪ | ۵۱/۲ | ۵۴/۴ | ۰/۱۰۰ | ۸۴/۵ | ۱۳/۸ | ۲۷/۰ |
| رس | ٪ | ۳۱/۴ | ۳۱/۵ | ۶/۹۰ | ۷۲/۰ | ۱۲/۳ | ۳۹/۱ |
| pH | - | ۷/۷۴ | ۷/۷۱ | ۷/۲۰ | ۸/۴۸ | ۰/۲۵۵ | ۳/۲۹ |
| SP | - | ۵۱/۷ | ۴۹/۳ | ۲۸/۹ | ۳۱۷ | ۳۱/۸ | ۶۱/۵ |
| OM | ٪ | ۱/۶۸ | ۱/۳۷ | ۰/۲۸۱ | ۵/۳۷ | ۱/۰۶ | ۶۳/۳ |
| CEC | meg/100 gr | ۲۶/۵ | ۲۵/۱ | ۱۵/۲ | ۴۳/۶ | ۶/۵۴ | ۲۴/۶ |

5. The Unsaturated Soil hydraulic Database
6. Saturated Percentage

داده‌ها به دو دسته ۵۲تایی با نام داده‌های صحت‌سنجی، برای توسعه مدل رگرسیون و ۲۵تایی برای اعتبارسنجی مدل رگرسیونی استفاده شد. داده‌های دسته دوم به صورت تصادفی انتخاب شدند. جهت ارزیابی مدل رگرسیونی از خطوط ۱:۱ استفاده شد. علاوه بر آن از آماره‌های ارزیابی ضریب تعیین($R^2$)، میانگین خطا (ME) میانگین مربعات خطا (RMSE) جهت بررسی آزمون صحت و اعتبارسنجی توابع رگرسیون چندگانه استفاده گردید. ضریب تعیین مستقیا از نرم‌افزار استخراج شد اما دو آماره‌ی دیگر از روابط (۱) و (۲) بدست آمدند.

$$ME= \Sigma [(P_i-O_i)/n] \quad (۱)$$

$$RMSE= \sqrt{(\Sigma [(P_i-O_i)^2]/n)} \quad (۲)$$

در روابط فوق، $P_i$: مقادیر برآورد شده CEC، $O_i$: مقادیر اندازه‌گیری شده CEC و n: تعداد نمونه‌ها است. کلیه محاسبات آماری در محیط نرم‌افزار Statistica 7.0 صورت گرفت.

## نتایج و بحث

دقت در داده‌های جدول (۱) نشان می‌دهد که مقدار میانگین و میانه متغیرها به هم نزدیک بوده که خود دال بر نرمال بودن داده‌ها است. در بین اجزای بافت خاک، سیلت با میانگین ۵۱/۲۸ درصد بیشترین و شن با میانگین ۱۷/۲۵ درصد کمترین مقدار را در اجزای بافت خاک دارد. مقادیر بیشینه‌ی سیلت، رس و شن به ترتیب ۸۴/۵، ۷۲ و ۶۸/۳ است. در داده‌های صحت سنجی، مقدار pH، از ۷/۲۰ تا ۸/۴۸ متغیر است؛ میانگین مقدار ماده آلی ۱/۶۸۳ درصد و از در محدوده‌ی ۵/۳۷-۰/۲۸۱ متغیر است. میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی ۲۶/۵ میلی‌اکی‌والان بر صد گرم خاک است که از ۱۵/۲۹ تا ۴۳/۶۹ متغیر است.

همبستگی ظرفیت تبادل کاتیونی با پارامترهای چگالی واقعی، اجزای بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن)، pH، درصد رطوبت اشباع و درصد ماده‌آلی خاک‌های مورد مطالعه در جدول (۲) آمده است. نتایج بررسی همبستگی ظرفیت تبادل کاتیونی با ویژگی‌های خاک نشان داد که CEC با ماده آلی (r=۰/۶۴)، درصد رس (r=۰/۳۳) همبستگی مستقیم و با چگالی واقعی (r= -۰/۲۹) همبستگی معکوس و معنی‌دار در سطح ۵ درصد دارد؛ درحالی‌که ظرفیت تبادل کاتیونی با دیگر پارامترها رابطه معنی‌داری نداشت.

**جدول ۲- ضرایب همبستگی CEC با خصوصیات زودیافت خاک**

| پارامتر | چگالی واقعی | شن | سیلت | رس | pH | SP | OM | CEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چگالی واقعی | ۱/۰۰ | | | | | | | |
| شن | ۰/۴۵* | ۱/۰۰ | | | | | | |
| سیلت | -۰/۲۵* | -۰/۶۵* | ۱/۰۰ | | | | | |
| رس | -۰/۲۸* | -۰/*۵۱ | -۰/۳۲* | ۱/۰۰ | | | | |
| pH | -۰/۱۸ | ۰/۰۵ | -۰/۰۸ | ۰/۰۲ | ۱/۰۰ | | | |
| SP | ۰/۲۰ | ۰/۲۱ | -۰/۱۴ | -۰/۱۰ | -۰/۲۰ | ۱/۰۰ | | |
| OM | -۰/۵۰* | -۰/۳۰* | ۰/۱۰ | ۰/۲۷* | ۰/۱۴ | -۰/۰۷ | ۱/۰۰ | |
| CEC | -۰/۲۹* | -۰/۲۱ | -۰/۰۶ | ۰/۳۳* | ۰/۰۶ | ۰/۰۳ | ۰/۶۴* | ۱/۰۰ |

*معنی‌داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد.

میرخانی و همکاران (۱۳۸۴) بین CEC با درصد رس و ماده آلی همبستگی خوبی مشاهده کردند. این درحالی‌است که معماریان‌فرد و بیگی‌هرچگانی (۱۳۸۸) علاوه بر همبستگی مستقیم ماده آلی، درصد رس و درصد اشباع با CEC ، همبستگی منفی بین درصد شن و CEC گزارش کردند؛ این همبستگی منفی به این دلیل است که با افزایش شن، توانایی ایجاد و

نگه‌داشت بار منفی و نتیجتاً CEC کاهش می‌یابد. همچنین استواری و همکاران (۱۳۹۴)، بین CEC و ماده آلی (r=۰/۷۰) و درصد رس (r=۰/۵۹) همبستگی مستقیم و معنی‌دار در سطح ۵ درصد و بین CEC با چگالی ظاهری (r=-۰/۴۱) و درصد شن (r=-۰/۳۵) همبستگی معکوس گزارش کردند.

توسعه تابع انتقالی رگرسیونی تخمین CEC

جهت توسعه تابع رگرسیونی برآورد CEC، ابتدا فقط ماده آلی (دارای بالاترین ضریب همبستگی مثبت با CEC) به عنوان ورودی به مدل وارد شد و مدل نهایی تخمین CEC، به شکل معادله (۳) توسعه یافت.

$$CEC = 19.7 + 4.15\ OM \qquad R = 0.683 \quad F = 45.6 \quad p<0.00001 \qquad (۳)$$

در معادله (۳) مقدار ضریب عرض از مبدأ در سطح ۵٪ معنی‌دار شده و مقدار آن برابر ۱۷/۱ میلی‌اکی‌والان بر صد گرم است. ماده‌آلی بر حسب درصد است. سپس تمامی پارامترهای خاک از جمله چگالی واقعی، اسیدیته، درصد شن، سیلت، رس، ماده آلی، درصد اشباع به مدل داده شد اما تنها ضریب ماده آلی که بیشترین همبستگی را با CEC داشت، معنی‌دار شد و مدل براساس آن توسعه یافت (معادله ۴).

$$CEC = 17.51 + 3.37\ OM \qquad R = 0.62 \quad F = 15.64 \quad p<0.00001 \qquad (۴)$$

در این معادله، مقدار ضریب عرض از مبدأ معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) شده و مقدار آن برابر ۱۷/۵۱ میلی‌اکی‌والان بر صد گرم و ماده‌آلی بر حسب درصد است. با توجه به همبستگی شدیدتر ماده آلی با ظرفیت تبادل کاتیونی، در معادله (۴) ضریب درصد رس در سطح ۵٪ معنی‌دار نشده است. در واقع ماده آلی به دلیل سطح ویژه بالا و داشتن مقدار زیادی گروه‌های عامل آنیونی، مکان مناسبی برای جذب و تبادل کاتیون‌ها می‌باشد و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی است (استواری و همکاران، ۱۳۹۴) و به همین سبب از بین تمامی ورودی‌های مدل، توانسته است به‌تنهایی تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی را مدل‌سازی می‌کند.

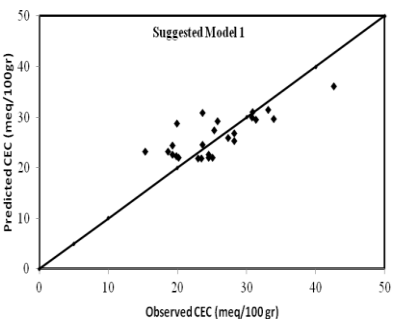
نهایتا به منظور بررسی اثر حذف پارامتر ماده آلی در تخمین CEC، چگالی واقعی، درصد اجزای بافت خاک ، اسیدیته، درصد اشباع به عنوان ورودی به مدل داده شده و تابع انتقالی تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی به صورت معادله (۵) توسعه یافت.

$$CEC = 0.164\ Clay \qquad R = 0.37 \quad F = 4.003 \quad p<0.024 \qquad (۵)$$

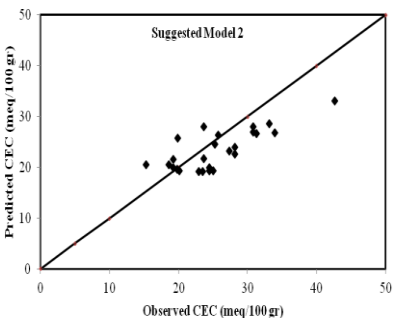
در معادله فوق، ضریب عرض از مبدأ در سطح ۵٪ معنی‌دار نشد. همچنین رس برحسب درصد است.

صحت‌سنجی روش رگرسیونی خطی

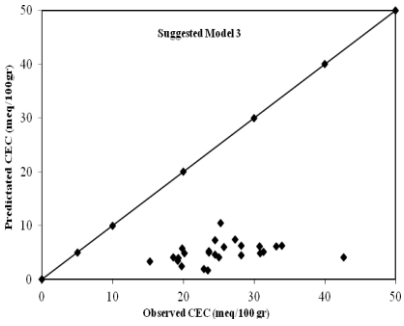
شکل (۱، ۲ و ۳) نمودار خطوط ۱:۱ مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر تخمین زده شده CEC توسط سه مدل رگرسیون پیشنهادی را نشان می‌دهد. همچنین جدول (۳)، آماره‌های ارزیابی ME، RMSE و $R^2$ روش رگرسیون خطی را در مجموعه داده صحت سنجی نشان می‌دهد.




شکل ۱- مدل رگرسیونی ۱




شکل ۲- مدل رگرسیونی ۲




شکل ۳- مدل رگرسیونی۳

پراکنش خوب نقاط حول خط ۱:۱ در شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که هر دو مدل ۱ و ۲ (معادله ۳ و ۴) در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی کارآیی خوبی دارند و بیش‌برازشی[۷] و کم‌برازشی[۸] محسوسی در این دو مدل پیشنهادی وجود ندارد، همچنین مطابق آماره‌های ارائه شده در جدول ۳، تفاوت معنی‌داری بین این دو مدل وجود ندارد. مطابق جدول ۳، مقدار شاخص ME که بیانگر اریب بودن است در مدل ۱، تقریبا نزدیک به صفر است و این مقدار در مدل ۲ به مقدار ناچیزی کم برازشی را نشان میدهد. علاوه بر این میزان خطا (RMSE) در دو مدل ۱ و ۲ نزدیک بهم و بترتیب ۳/۹ و ۴/۸ می‌باشد. این‌درحالی‌است که مدل ۳ (معادله ۵) که براساس درصد رس توسعه یافته است، کم برازشی شدیدی (ME=-۲۰/۴ ) را نشان می‌دهد، علاوه براین مقدار خطا در مدل ۳، حدود ۴-۵ برابر بیشتر از دو مدل ۱ و ۲ می‌باشد.

**جدول ۳- آماره‌های ارزیابی ME، RMSE و $R^2$ روش رگرسیون خطی چندگانه در داده‌های صحت‌سنجی**

| مدل رگرسیونی | بر اساس | $R^2$ | RMSE | ME |
|---|---|---|---|---|
| مدل ۱ | ماده آلی | ۰/۵۸ | ۳/۹۰ | ۰/۷۰ |
| مدل ۲ | ماده آلی | ۰/۵۸ | ۴/۸۵ | -۲/۷۰ |
| مدل ۳ | رس | ۰/۰۸ | ۲۱ | -۲۰/۴ |

مدل رگرسیونی ۱ و ۲ (معادله ۳ و ۴) که براساس ماده آلی توسعه یافته‌اند، مطابق شکل ۱ و ۲ و جدول ۳ کارآیی قابل قبولی در تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی دارند، در حالیکه مدل ۳ (توسعه یافته براساس درصد رس در شرایط حذف ماده آلی از پارامترهای ورودی مدل) قادر به تخمین یک رابطه خطی با ظرفیت تبادل کاتیونی نیست و احتمالا رابطه درصد رس با CEC، غیر خطی و غیرقابل تشخیص با رگرسیون خطی است. برخلاف مطالعه‌ی Krogh et al., (2000) که نشان داد رس و ماده آلی حدود ۹۰ درصد تغییرات CEC را مدل‌سازی می‌کنند، نتایج مطالعه‌ی حاضر حاکی از آن است توابع توسعه یافته براساس ماده‌آلی به‌تنهایی تا میزان قابل توجهی در تخمین CEC موفق عمل می‌کنند. عوامل متعددی می‌تواند در برآورد نسبتاً خوب این مدل‌ها تاثیر داشته باشد که از جمله این عوامل می‌توان متفاوت بودن نوع و مرفولوژی مواد آلی و خصوصیات خاک را نام برد، همانگونه که نوع و مرفولوژی رس و تغییرپذیری مکانی بالای خصوصیات خاک از جمله عوامل موثر در مدل‌های برآورد CEC نام برده شده است (Stewart and Hoosner, 2001؛ معماریان‌فرد و بیگی‌هرچگانی، ۱۳۸۸).

به طور کلی، هدف از این پژوهش معرفی توابع انتقالی به عنوان روش غیرمستقیم در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های دشت مرودشت بوده است. نتایج این مطالعه بیان می‌کند که ظرفیت تبادل کاتیونی مطابق مطالعات پیشین با ماده آلی و رس بیشترین همبستگی را دارد. در حالی‌که رابطه بین CEC با درصد ماده آلی به صورت برجسته ارتباطی خطی و مستقیم است؛ با چگالی واقعی خاک در سطح ۵ درصد ارتباط معکوس دارد و همچنین به نظر می‌رسد که رابطه‌ی درصد رس و CEC، غیر خطی بوده و با رگرسیون خطی قابل تشخیص نمی‌باشد. نتیجتا دو مدل توسعه یافته براساس ماده آلی در برآورد مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مورد مطالعه دشت مرودشت بخوبی عمل کردند. می‌توان بیان داشت که رابطه CEC و OM خطی بوده و احتمالا در منطقه‌ی مورد مطالعه OM نقش پررنگی در مقادیر گنجایش تبادل کاتیونی دارد. البته چنانچه سایر ویژگی‌های خاک بر CEC تاثیری داشته باشند، این روابط غیرخطی و غیر قابل تشخیص با رگرسیون خطی می‌باشد.

## منابع

استواری، ی.، عسگری، ک. و متقیان، ح. ر. ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های رگرسیون درختی و خطی چندگانه در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد بیست و نهم، شماره‌ی ۳، صفحه‌های ۶۸۳ تا ۶۹۴.

کریمیان، ن.ع. ۱۳۷۵ .سهم رس و مواد آلی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های آهکی استان فارس. صفحه‌های ۲۳۴ تا ۲۳۶. مجموعه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ایران. کرج. تهران.

[7]. Over-fitting
[8]. Less-fitting

معماریان‌فرد، م. و بیگی‌هرچگانی، ح. ا. ۱۳۸۸. مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و توابع انتقالی رگرسیونی برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد بیست و سوم، شماره‌ی ۴، صفحه‌های ۹۰ تا ۹۹.

مهربانیان، م.، تقی‌زاده‌مهرجردی، ر. ا. و دهقانی، ف. ۱۳۸۹. بررسی کارایی توابع انتقالی جهت تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های آهکی و گچی استان یزد. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد هفدهم، شماره‌ی ۱، صفحه‌های ۱۱۳ تا ۱۲۷.

میرخانی، ر.، سعادت، س. و شعبانپور، م. ۱۳۸۴. برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از توابع انتقالی. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران.

هزارجریبی، ا.، نصرتی کاریزک، ف.، عبداله‌نژاد، ک. و قربانی، خ. ۱۳۹۲. بررسی امکان پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد بیست و هفتم، شماره‌ی ۴، صفحه‌های ۷۱۲ تا ۷۱۹.

Horn R., Fleige F.H., Richter E. A., Czyz A. Dexter E., Diaz-Pereira Damitru R., Enarche, F., Mayol K., Rajkai D., Delarosa and Simota C. 2005. SIDASS project 5: Prediction of mechanical strength of arable soils and its effects on physical properties atvarious map scales. Soil and Tillage Research, 82:47-56.

Keller A., Steiger B.V., van der Zee S.E.A.T.M. and Schulin R. 2001. A Stochastic Empirical Model for Regional Heavy-Metal Balances in Agroecosystems. J. Environ. Qual. 30: 1976-1989.

Krogh L., Madsen H.B. and Greve M.H. 2000. Cation exchange capacity pedotransfer functions for Danish soils. Acta AgriculturalScienceand Sect. B, Soil and Plant Science, 50:1–12.

Manrique L.A., Jones C.A. and Dyke P.T. 1991. Predicting cation-exchange capacity from soil physical and chemical properties. SOIL SCI. SOC. AM. J., 55: 787-794.

Martel Y.A., De Kimpe C.R. and Laverdiere M.R. 1978. Cation-exchange capacity of clay-rich soils in relation to organic matter, mineral composition, and surface area. SOIL SCI. SOC. AM. J., 42: 764-767.

McBratney A.B., Minasny B., Cattle S.R. and Vervoort R.W. 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems. Geoderma, 109: 41-73.

Seybold C.A., Grossman R.B. and Reinsch T.G. 2005. Predicting Cation Exchange Capacity for Soil Survey Using Linear Models. SOIL SCI. SOC. AM. J., 69: 856-863.

Stewart W.M. and Hossner L.R. 2001. Factors affecting ratio of cation exchange capacity to clay content in lignite overburden. J of Environ Qual, 30:1143-1149.

Schaap M. G. 2004. Accuracy and uncertainty in PTF predictions. Elsevier.

## Developing Pedotransfer Functions for Estimating CEC with a View towards OM

F. Roostaei[1*]and Y. Ostovari[2]
1- M.Sc of Soil Science, Agriculture Faculty, Yasooj University. and 2- PhD of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahrekord University
Email: roostaei.fatemeh@gmail.com

**Abstract**

Cation exchange capacity is one of the most important chemical characteristics of soil that direct measurement of it is of difficulty; accordingly, the aim of this study is developing PTFs as an indirect method for predicting CEC in soils of Marvdasht Plain. To approach this purpose 77 soil samples collected and particle density, pH, soil texture properties, organic matter, saturation percentage and CEC measured. Data divided into 2 sets including 52 and 25 for developing and validating linear regression, respectively. The accuracy of suggested PTFs evaluated by 1:1 lines, $R^2$, RMSE and ME. The findings show that the developed PTFs by organic matter because of having the highest correlation ($r=0.64^*$), represent the most accurate estimation of CEC (RMSE= 3.90, ME= 0.705); although, %clay has a positive correlation ($r=0.33^*$), probably has a non-linear relationship with CEC which is indistinguishable using linear regression and its developed PTF shows less-fitting (ME=-20.4) and high error (RMSE=21) in estimation.

**Keywords:** Difficult-to-measure soil properties, Pedotransfer functions, Regression, Stepwise, Statistica.