



مقاومت مکانیکی خاک، تاکنون دقت برآورد مدل دکستر ارزیابی نگردیده است. هدف این پژوهش، ارزیابی مدل Dexter و همکاران (۲۰۰۷) در برآورد منحنی مقاومت مکانیکی خاک به نفوذ ریشه در دو بافت خاک غالب استان زنجان می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش دو نمونه خاک با بافت لوم شنی (E ۴۸°۲۳' N ۳۶°۴۰' و ارتفاع ۱۶۵۱ متر) و لوم رسی (E ۴۸°۲۳' N ۳۶°۴۱' و ارتفاع ۱۵۷۶ متر) از اراضی دانشگاه زنجان در سال ۹۲ تهیه گردید. نمونه‌برداری به صورت مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر انجام گرفت. توزیع اندازه ذرات خاک‌ها با استفاده از هیدرومتر و الک، جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از نمونه دست‌نخورده و به روش سیلندر و منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از ستون آب آویزان (۱-۱۰۰ cm)، دستگاه صفحات فشاری (۵۰۰۰-۱۰۰ cm) و غشای فشاری (مکش) (۱۵۰۰۰-۵۰۰۰ cm) اندازه‌گیری شد (Dane و Hopmans, ۲۰۰۲). اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک با استفاده از فروسنج مخروطی با قطر ۲۰/۲۷ mm و سطح مقطع ۳۲۳ mm<sup>2</sup> با زاویه ۳۰° (ASAE S313.3 FEB04) با سرعت نفوذ ۱ cm min<sup>-1</sup> در عمق ۱-۴ cm سطح خاک گلدان‌ها (شکل ۳-۲) در چندین مکش ماتریک مختلف خاک در محدوده‌ی ۳۰۰ تا ۱۵۰۰۰ cm انجام گرفت تا یک منحنی پیوسته حاصل شود (Lowery و Morrison, ۲۰۰۲). در هر مکش، مقاومت مکانیکی خاک در ۳ تکرار اندازه‌گیری شده و میانگین آن‌ها محاسبه گردید.



شکل ۳-۲ نمایی از فروسنج مخروطی برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک درون گلدان

در این مطالعه، علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم مقاومت مکانیکی خاک، روش Dexter و همکاران (۲۰۰۷) نیز برای برآورد مقاومت مکانیکی خاک (SR) با استفاده از داده‌های منحنی مشخصه آب خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. رابطه پیشنهادی آنان، شامل دو جزء اصلی است: جزء اول معیاری از درجه تراکم خاک است و جزء دوم بیان‌کننده سهم آب منفذی در مقاومت خاک است:

$$SR = a' + b' \left( \frac{1}{S} \right) + c' \sigma' \quad (1)$$

SR مقاومت مکانیکی خاک برحسب کیلو پاسکال،  $\sigma'$  تنش مؤثر است و سهم آب منفذی را در مقاومت خاک نشان می‌دهد، S شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف بوده و به‌عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی بکار می‌رود. و  $\frac{1}{S}$  معیاری از درجه تراکم خاک است.  $a'$ ،  $b'$  و  $c'$  پارامترهای تجربی و بدون بعد حاصل از برازش معادله هستند ( $a'=328$ ,  $b'=37.39$ ,  $c'=1.615$ ). شاخص S دکستر و  $\sigma'$  با استفاده از پارامترهای معادله ون‌گنوختن قابل برآورد می‌باشند (Dexter, ۲۰۰۷):

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (2)$$

$$\sigma' = S_e h \quad (3)$$

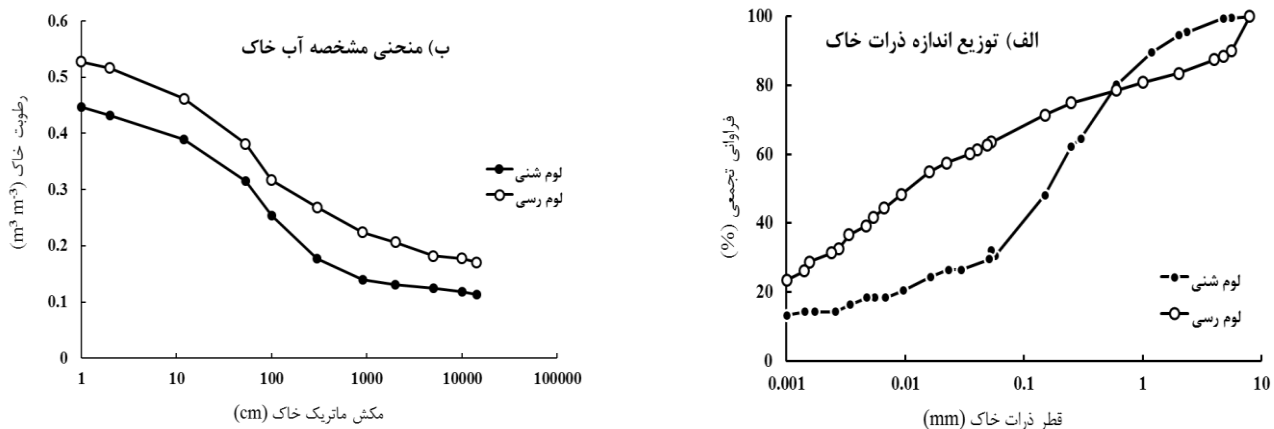
$S_e$  [-] درجه اشباع نسبی است  $(\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$  و  $h$  مکش آب منفذی است که از معادله ون گنوختن (۱۹۸۰) محاسبه می‌شود:

$$h(S_e) = \frac{1}{\alpha} \left[ a \frac{1}{m} - 1 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

برای ارزیابی دقت برازش مدل از آماره میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

## نتایج و بحث

منحنی توزیع اندازه ذرات خاک و منحنی مشخصه آب خاک در دو بافت خاک مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. خاک با بافت لوم شنی با جرم مخصوص ظاهری  $1/5 \text{ g cm}^{-3}$  دارای ۱۴ درصد رس و ۱/۳ درصد کربن آلی بود در حالیکه دومین نمونه خاک با بافت لوم رسی ۳۰ درصد رس، ۱ درصد کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری برابر با  $1/25 \text{ g cm}^{-3}$  داشت.

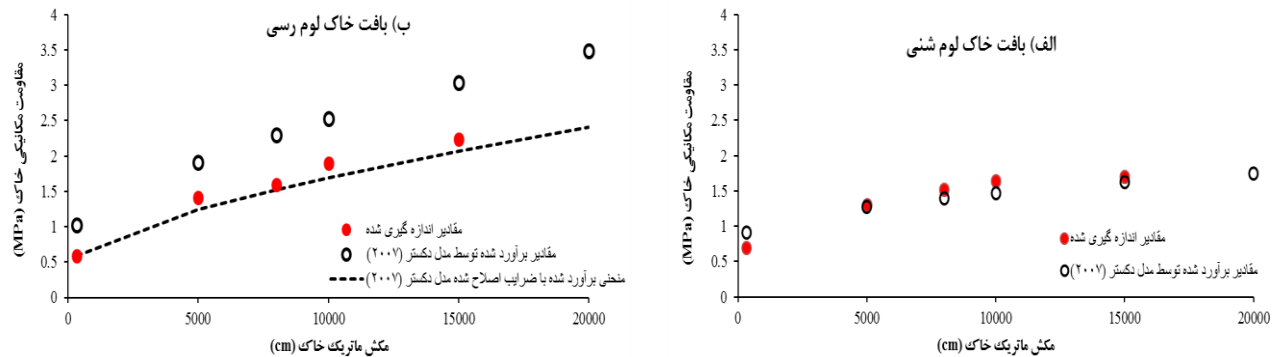


شکل ۱. منحنی توزیع اندازه ذرات (الف) و منحنی مشخصه آب خاک (ب) در دو بافت خاک لوم شنی و لوم رسی استان زنجان

تغییرات مقاومت مکانیکی خاک (SR) دو خاک لوم شنی و لوم رسی در مکش‌های ماتریک مختلف خاک در شکل ۲ الف و ب نشان داده شده است. افزایش مکش ماتریک خاک از ۳۳۰ cm تا ۱۵۰۰۰ cm و به موازات آن کاهش رطوبت خاک موجب افزایش مقدار SR به ترتیب از ۰/۷ MPa تا ۰/۷ MPa در خاک لوم شنی و از ۰/۵۶ MPa تا ۲/۲۹ MPa در خاک لوم رسی گردید (شکل ۲ الف و ب). افزایش مقدار SR با کاهش رطوبت خاک در نتیجه افزایش در تنش مؤثر خاک می‌باشد. Ley و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند که رابطه بین مقدار رطوبت خاک و مقاومت به نفوذ خاک به نوع سیستم مدیریتی خاک بستگی دارد. در مقادیر بالای رطوبت خاک، عملاً مقاومت به نفوذ خاک نسبت به تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک حساس نمی‌باشد. هر چند نرخ افزایش SR در مقابل کاهش رطوبت به توزیع اندازه ذرات خاک (Wilson و همکاران، ۲۰۱۳)، ضریب اصطکاک بین آن‌ها (Meskini-Vishkaee و Mohammadi، ۲۰۱۲) و مقدار ماده آلی خاک (Stock و Downes، ۲۰۰۸) بستگی دارد.

ویژگی‌هایی مانند توزیع اندازه ذرات، مینرالوژی رس و مقدار ماده آلی خاک با تأثیر بر خاکدانه سازی، جرم مخصوص ظاهری و حجم ویژه، مقدار رطوبت و توزیع اندازه منافذ بر مقاومت خاک تأثیر می‌گذارند (Lal و Shukla، ۲۰۰۴). نتایج این پژوهش نشان داد که در یک مکش ماتریک مشخص، مقدار مقاومت به نفوذ در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی بود. این نتایج توسط یافته‌های Wilson و همکاران (۲۰۱۳) تایید می‌شود. آن‌ها نیز

مشاهده کردند که مقاومت به نفوذ خاک نه تنها متأثر از کلاس بافتی خاک، بلکه تحت تأثیر مقدار رس و مینرالوژی کانی‌های رسی خاک قرار دارد. یافته‌های آنان نیز حاکی از افزایش مقاومت به نفوذ خاک با افزایش مقدار رس خاک بود.



شکل ۲. تغییرات مقاومت مکانیکی خاک به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک در خاک لوم شنی (الف) و خاک لوم رسی (ب). نقاط توخالی برآورد روش Dexter و همکاران (۲۰۰۷)، نقاط توپر با رنگ قرمز مقادیر اندازه‌گیری شده و منحنی برازش مدل Dexter و همکاران (۲۰۰۷) با ضرایب واسنجی شده را نشان می‌دهند.

نتایج نشان داد که مدل Dexter و همکاران (۲۰۰۷) مقاومت مکانیکی خاک را در خاک لوم شنی با دقت مناسبی ( $RMSE = 0.139$ ) برآورد نمود (شکل ۲ الف). در حالی که در خاک لوم رسی، مقادیر برآورد شده توسط مدل در تمامی مکش‌های مورد مطالعه بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده بود ( $RMSE = 0.744$ ) و با کاهش مقدار رطوبت خاک و خشک‌تر شدن خاک، اختلاف بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده نیز بیشتر شد (شکل ۲ ب). باید به این نکته اشاره نمود که در مجموعه داده‌هایی که برای بسط ضرایب تجربی مدل Dexter و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شده است مقدار رس خاک از ۲ تا ۲۵ درصد بوده است. و خاک مورد مطالعه در این پژوهش در محدوده خاک‌های استفاده شده در بسط ضرایب تجربی مدل نبود و همین امر، دلیل عدم توانایی مدل Dexter و همکاران (۲۰۰۷) در برآورد منحنی مقاومت مکانیکی خاک لوم رسی بود. بنابراین در این پژوهش با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، مقدار ضرایب تجربی رابطه (۱) برای خاک لوم رسی واسنجی گردید (رابطه ۵).

$$SR = 331.2 + 8.88\left(\frac{1}{S}\right) + 1.194\sigma' \quad (5)$$

### نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد در صورت عدم امکان اندازه‌گیری منحنی مقاومت مکانیکی خاک، می‌توان از منحنی مشخصه آب خاک برای برآورد آن استفاده نمود. هرچند در استفاده از مدل پیشنهادی باید به این نکته توجه نمود که دقت مدل پیشنهادی در محدوده مقادیر ویژگی‌های داده‌هایی می‌باشد که در بسط ضرایب تجربی مدل استفاده شده است. و برای خاک‌هایی با مقادیر بالای رس (مقدار رس خاک بیش از ۲۵ درصد)، ضرایب تجربی مدل نیاز به واسنجی دارند. با توجه به مکانیزه‌شدن کشاورزی و کاهش سطح کیفی خاک‌های کشاورزی که موجب افزایش تراکم خاک گردیده، مقاومت مکانیکی خاک یکی از عوامل فیزیکی مهم و مؤثر بر عملکرد محصول خواهد بود که علاوه بر اثرگذاری بر مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه، بر توانایی ریشه‌دوانی گیاه نیز مؤثر است. بنابراین اندازه‌گیری و مطالعه مقاومت مکانیکی خاک‌های کشور و روش‌های برآورد آن در راستای نیل به کشاورزی و تولید پایدار ضروری است.

### منابع:

- Bartzen, B. Th., Hoelscher, G. L., Ribeiro, L. L. O. and Seidel, E. P. 2019. How the soil resistance to penetration affects the development of agricultural crops? *Journal of Experimental Agriculture international*, 30(50), 1-17.
- Baumhardt, R. L., Unger, P. W. and Dao, T. H. 2004. Soil and crop management-seedbed surface geometry effects on soil crusting and seedling emergence. *Agronomy Journal*, 96, 1112-1117.
- Dane, J. H. and Hopmans, J. W. 2002. Pressure cell. In: *Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods* (ed. Dane, J. H. and Topp, G. C.) Pp. 684-688. SSSA Book Series, Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI.



- Dexter, A. R., Czyz', E. A. and Gate, O. P. 2007. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil & Tillage Research*, 93, 412-419.
- Ghestem, M., Veylon, G., Bernard, A., Vanel, Q. and Stokes, A. 2013. Influence of plant root system morphology and architectural traits on soil shear resistance. *Plant soil*, 377, 43-61.
- Jung, K. Y., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Lee, K. S. and Chung, S. O. 2010. Soil compaction varies by crop management system over a claypan soil landscape. *Soil & Tillage Research*, 107, 1-10.
- Lal, R. and Shukla, M. K. 2004. *Principals of soil physics*. Marcel Dekker, INC. New York, Basel.
- Ley, G. J., Mullins, C. E. and Lal, R. 1993. Effect of soil properties on the strength of weakly structured tropical soils. *Soil & Tillage Research*, 28, 1-14.
- Lowery, B. and Morrison, J. E. 2002. Soil penetrometers and penetrability. In: *Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods* (ed. Dane, J. H. and Topp, G. C.) Pp. 363-388. SSSA Book Series, Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI.
- Materchera, S. A., Dexter, A. R. and Alston, A. M. 1991. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant-species. *Plant Soil*, 135, 31-41.
- Mohammadi, M. H. and Meskini-Vishkaee, F. 2012. Predicting the film and lens water volume between soil particles using particle size distribution data. *Journal of Hydrology*, 475, 403-414.
- Stock, O. and Downes, N. K. 2008. Effects of additions of organic matter on the penetration resistance of glacial till for the entire water tension range. *Soil & Tillage Research*, 99, 191-201.
- Wang, Y., Chen, Y., Rahman, S. and Froese, J. 2009. Tillage effects on soil penetration resistance and early crop growth for red river clay. *Canadian Biosystems Engineering*, 51, 2.1-2.11.
- Whalley, W. R., Watts, C. W., Gregory, A. S., Mooney, S. J., Clark, L. J. and Whitmore, A. P. 2008. The effect of soil strength on yield of wheat. *Plant Soil*, 306, 237-247.
- Wilson, M. G., Sasal, M. C. and Caviglia, O. P. 2013. Critical bulk density for a Mollisol and a Vertisol using least limiting water range: Effect on early wheat growth. *Geoderma*, 192, 354-361.



# 16<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Soil Physics and Plant Growth

## Estimation of soil mechanical resistance curve using soil water characteristic curve

Meskini-Vishkaee, F.<sup>\*1</sup>, Mohammadi, M.H.<sup>2</sup>, Neyshabouri, M.R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Tabriz, Iran

### Abstract

Soil mechanical resistance (SR) is one of the most important soil physical limitations in plant growth and root penetration. Therefore, this study was conducted to evaluate the possibility of estimating soil mechanical resistance curve using soil water characteristic curve in two dominant soil textures of Zanjan province. Two soil samples with sandy loam and clay loam textures were selected. Particle size distribution, Bulk density, soil water characteristic and soil mechanical resistance curves were measured. Increasing soil matric suction from 330 cm to 15000 cm and decreasing soil moisture increased the value of SR from 0.7 MPa to 1.7 MPa in sandy loam soil and from 0.59 MPa to 2.29 MPa in clay loamy soil. In addition, the results of this study showed that the value of SR in clay loam soil was higher than that of sandy loam in a matric suction. With increasing clay content, the precision of the proposed model estimations was reduced. The results showed that in soils with clay content less than 25%, the proposed model was able to estimate properly the soil mechanical resistance curve, but the use of the proposed model in soils with higher clay content is required to calibrate the model experimental coefficients.

**Keywords:** Soil physical restriction, Modeling, Root penetration.

---

\* Corresponding author, Email: fatemeh.meskini@yahoo.com