

## ارائه یک الگوریتم مبتنی بر داده‌های هواشناسی برای پیش‌بینی روزهای ترددپذیر در

### یک مزرعه (مطالعه موردی در شهرستان شهرکرد)

زهرا ساعدی<sup>۱</sup>، مجتبی نادری بلداجی<sup>۲\*</sup>، بهرام حسین‌زاده سامانی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

• نویسنده مسئول: [m.nadery\\_boldaji@yahoo.com](mailto:m.nadery_boldaji@yahoo.com)

#### چکیده

هدف اصلی از این مطالعه توسعه یک الگوریتم تجربی - تحلیلی برای پیش‌بینی روزانه ترددپذیری خاک با معیار تنش پیش-تراکم در مزرعه‌ای در دانشگاه شهرکرد است. تحلیل‌های آماری نشان داد که با استفاده از متغیرهای هواشناسی هر سال شامل داده‌های بارش همان روز و روز قبل، دما، تابش و سرعت باد می‌توان بخوبی تغییرات رطوبت خاک را پیش‌بینی نمود ( $R^2 = 3/3\%$  و  $RMSE = 0/85$ ). بر این اساس و روابط تجربی و تحلیلی بین تنش پیش‌تراکم و رطوبت خاک، امکان پیش‌بینی تنش پیش‌تراکم برای یک مزرعه امکان‌پذیر خواهد بود. با استفاده از مدل تحلیلی (Elbana and Witney, 1987) امکان تعمیم نتایج به بافت‌های مختلف خاک با پیش‌بینی شاخص مخروط و ارتباط آن با تنش پیش‌تراکم انجام شد.

**واژه‌های کلیدی:** تراکم خاک، تردد ماشین، تنش پیش‌تراکم، روز ترددپذیر.

#### مقدمه

فشرددگی خاک (Soil compaction) یکی از مسائل و مشکلات جدی در کشاورزی مدرن می‌باشد که منجر به کاهش تولید محصول و خسارت زیست محیطی می‌شود (Hamza & Anderson, 2005). عامل اصلی در فشرددگی خاک، نیروهای مختلفی است که به سطح یک خاک غیراشباع وارد می‌شوند. از عمده دلایل به‌وجود آمدن تراکم خاک، تردد ماشین‌های سنگین کشاورزی در سطح مزرعه و حرکت ادواتی همچون گاواهن برگرداندار در خاک می‌باشد که در صورت نامناسب بودن شرایط خاک موجب ایجاد کفه شخم (Plow pan) می‌شود (Koolen, 1982).

یکی از متداول‌ترین مشخصه‌های تعیین استحکام خاک تنش پیش‌تراکم (Precompression stress) می‌باشد. تنش پیش-تراکم به عنوان حداکثر تنشی که خاک می‌تواند تحمل کند بدون اینکه فشرددگی آن افزایش یابد، تعریف شده است (Casagrande, 1936; Lebert & Horn, 1991). این تنش به عنوان معیاری از مقاومت خاک جهت پایدار نگهداشتن ساختمان خاک در برابر نیروهای داخلی و خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تنش پیش‌تراکم بشدت تحت تاثیر پتانسیل ماتریک و بافت خاک می‌باشد (Gut et al., 2015; Horn & Fleige, 2003; Arvidsson & Keller, 2004; Mosaddeghi et al., 2003). پتانسیل ماتریک بیانگر فشار جذب آب بین ذرات خاک می‌باشد که اساساً با محتوای رطوبت خاک ولی بسته به نوع خاک با چگالی ظاهری نیز تغییر می‌کند. از این لحاظ استحکام خاک (تنش پیش‌تراکم) ارتباط قوی با محتوای رطوبت خاک دارد (Vero et al., 2014). برنامه‌ریزی‌های ماشینی هر مزرعه قبل از فصل زراعی با پیش‌بینی روزهای ترددپذیر امکان فراهم نمودن ظرفیت ماشینی کافی جهت جلوگیری از تاخیر در عملیات را مهیا می‌نماید. بدین منظور یا نیاز به مدل‌های پیش‌بینی روزانه پتانسیل ماتریک و یا به طور ساده‌تر رطوبت خاک جهت پیش-بینی تنش پیش‌تراکم خاک در عمق خاک زراعی و یا در عمق بین خاک رویین و خاک زیرین می‌باشد (Gut et al., 2015).

در سال‌های اخیر شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه‌های مختلفی از جمله حفاظت از محیط زیست، طیف‌سنجی، باد، تخمین بارش و رواناب در مقیاس‌های مختلف زمانی، پیش‌بینی دمای سطح دریا، آنالیز پارامترهای هواشناسی، پیش‌بینی

ارتفاع موج، تکمیل سری‌های زمانی عناصر هواشناسی و پیش‌بینی دمای حداقل استفاده شده است (Plamen et al, 1999; Linker et al, 2005; Gosav et al, 2008; Hall et al, 1998; Vogt & Sacher, 2001). به عنوان یک راهکار، تعیین روزهای ترددپذیر خاک در یک منطقه زراعی با پیش‌بینی رطوبت خاک با تحلیل آماری داده‌های هواشناسی و روابط تجربی بین رطوبت و استحکام خاک می‌تواند رویکرد ساده‌تری برای توسعه یک مدل پیش‌بینی روزانه استحکام خاک باشد. در این خصوص نیاز است تا با استفاده از داده‌های هواشناسی هر منطقه و همچنین خصوصیات فیزیکی و بافت خاک مدلی را جهت پیش‌بینی روزانه استحکام خاک توسعه داد تا بتوان با ارزیابی وضعیت استحکام به شکل روزانه و با تغییر پارامترهای ماشین، میزان خطر فشردگی خاک بواسطه تردد ماشین را پیش‌بینی نمود. تاکنون گزارشی مبنی بر امکان پیش‌بینی رطوبت خاک از داده‌های هواشناسی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه نشده است که در این مطالعه مدنظر می‌باشد.

در ایران و بویژه در استان چهارمحال و بختیاری رویکرد تعیین روزهای ترددپذیر خاک با معیار تنش پیش‌تراکم جهت کاهش خطر فشردگی خاک بواسطه تردد ماشین تاکنون بکار گرفته نشده است. اهداف این مطالعه بطور مشخص عبارتند از ۱- تعیین متغیرهای هواشناسی موثر در پیش‌بینی رطوبت خاک در یک مزرعه مفروض، ۲- بررسی امکان پیش‌بینی متغیرهای موثر هواشناسی یک سال با استفاده از داده‌های هواشناسی سال‌های قبل و مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و ۳- تعیین ارتباط بین رطوبت و تنش پیش‌تراکم با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و مدل‌های تحلیلی.

## مواد و روش‌ها

مزرعه مورد مطالعه، واقع در دانشگاه شهرکرد با بافت لومی رسی (۳۸٪ رس، ۳۲٪ سیلت و ۳۰٪ شن) انتخاب شد. شکل ۱ الگوریتم مدل پیش‌بینی روزانه تنش پیش‌تراکم خاک را نشان می‌دهد. نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری محتوای رطوبت خاک در پاییز و زمستان ۹۴ هفته‌ای دو نمونه در سه عمق ۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتیمتری و در تابستان ۹۵ هفته‌ای یک نمونه از مزرعه انجام شد. برای تعیین محتوای رطوبت خاک، نمونه‌ها در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشکانده شد. رطوبت خاک از رابطه ۱ محاسبه شد.

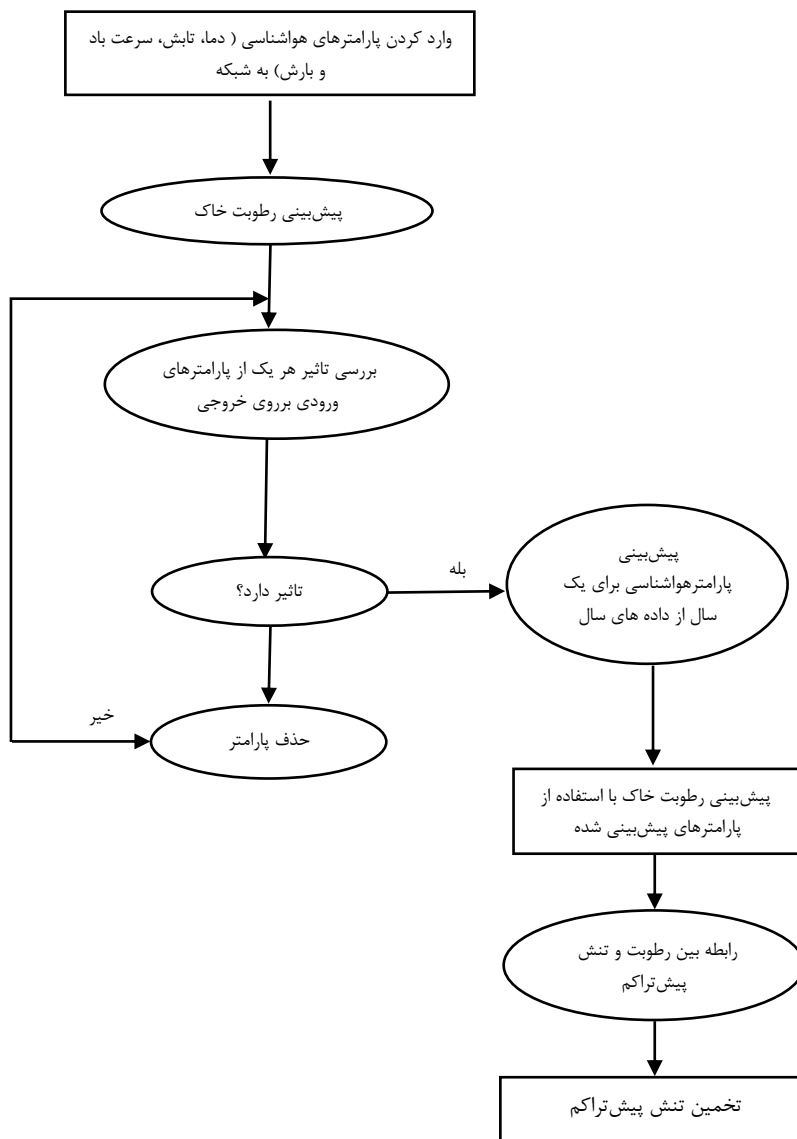
$$\theta_m = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{dry}} * 100 \quad (1)$$

که در این رابطه  $M_{wet}$  جرم خاک قبل از خشکاندن،  $M_{dry}$  جرم خاک خشک‌شده و  $\theta_m$  درصد رطوبت خاک است. در نهایت رطوبت میانگین ۳۰-۰ سانتی‌متر مورد تحلیل قرار گرفت. در کل اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک در ۴۸ روز انجام شد. در گام اول با در نظر گرفتن متغیرهای آب و هوایی (بارش، دما، تابش و سرعت باد) بعنوان ورودی پیش‌بینی رطوبت خاک برای ۴۸ روز از سال زراعی ۹۴-۹۵ (که در آن رطوبت خاک اندازه‌گیری شد) با استفاده از شبکه‌های عصبی بررسی شد و تاثیر هر کدام از این متغیرها بر خروجی شبکه (رطوبت خاک) محاسبه شد. در گام دوم امکان پیش‌بینی متغیرهای آب و هوایی موثر در پیش‌بینی رطوبت خاک شامل بارش، دما، تابش و سرعت وزش باد از داده‌های سال‌های قبل هواشناسی بررسی شد. معیار انتخاب، شبکه‌ای است که بهترین آموزش را دیده باشد و نتایج قابل قبولی ارائه داده باشد. در نهایت بهترین توپولوژی مدل شبکه عصبی با بیشترین ضریب  $R^2$  و کمترین RMSE انتخاب شد. در گام سوم رابطه بین رطوبت خاک و تنش پیش-تراکم با آزمون‌های تجربی بررسی و با روابط تحلیلی استحکام خاک ارزیابی شد. جهت تخمین تنش پیش‌تراکم نیاز به روابطی تجربی و یا تحلیلی بین رطوبت و تنش پیش‌تراکم می‌باشد. جهت تعیین تنش پیش‌تراکم در ارتباط با رطوبت خاک با استفاده از آزمون‌های آزمایشگاهی، نمونه‌هایی استوانه‌ای (به قطر ۱۰۰ و ارتفاع ۶۰ میلی‌متر) از خاک مزرعه قالب‌گیری شدند. برای قالب‌گیری نمونه‌ها، پس از خشک کردن خاک مزرعه در آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، خاک در چهار سطح رطوبت وزنی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد، هر کدام در سه سطح چگالی ظاهری خشک ۱/۱۰، ۱/۲۲ و ۱/۳  $Mg\ m^{-3}$  با سه تکرار در هر سطح آماده شد.

برای تعیین تنش پیش‌تراکم از آزمون فشار گام به گام تک‌محوری محصور (Confined uniaxial compression) استفاده شد. نمونه‌های آماده شده همراه با سیلندر بر روی دستگاه آزمون مکانیکی مواد قرار گرفت و فشار به صورت گام به گام به ترتیب در سطوح ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰، ۳۲۰ و ۶۴۰ kPa در گام‌های سه دقیقه‌ای به نمونه‌ها وارد شد. با استفاده از تغییر شکل‌های ثبت شده در انتهای هر گام، منحنی تنش - نسبت پوکی نمونه‌ها محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفت. نسبت پوکی از رابطه ۲ با محاسبه چگالی ظاهری در انتهای هر گام تنش محاسبه شد.

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (2)$$

که  $\rho_s$  و  $\rho_d$  به ترتیب چگالی ذرات جامد و چگالی ظاهری می‌باشند. چگالی ذرات جامد خاک مورد آزمون با روش پیکنومتر  $2/7 \text{ Mg m}^{-3}$  تعیین شد.



شکل ۱- روندنمای مدل تخمین روزانه تنش پیش‌تراکم

برای تخمین تنش پیش‌تراکم از روش برازش تابع گمپرتز (Gompertz, 1825) بر منحنی لگاریتم تنش - نسبت پوکی و تعیین نقطه بیشینه انحنا استفاده شد (نادری بلداجی و همکاران، ۱۳۹۶). جهت برازش تابع گمپرتز بر داده‌های تنش - نسبت پوکی، برنامه‌ای با ابزار ویژوال بیسیک در نرم‌افزار اکسل نوشته شد که پارامترهای تابع گمپرتز را تعیین و با محاسبه تابع انحنا نقطه بیشینه انحنا را محاسبه می‌کند (نادری بلداجی و همکاران، ۱۳۹۶).

یکی از پارامترهای جایگزین برای استحکام خاک شاخص مخروط (Cone index) می‌باشد. استفاده از شاخص مخروط برای تعیین تردپذیری و کارپذیری خاک در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Hoogmoed et al., 2003; Arvidsson et al., 2003; Rotz & Harrigan, 2004; Earl, 1997). برخی مطالعات نشان داده‌اند که همبستگی نسبتاً قوی بین شاخص مخروط و تنش پیش‌تراکم خاک می‌تواند وجود داشته باشد، (Hemmat et al., 2014) عنوان کردند که در خاک با ساختار ناپایدار در ایران تنش پیش‌تراکم ۰/۰۹ شاخص مخروط است. این ضریب در مطالعه‌ای در خاک‌های سوییس ۰/۶۳ به دست آمد (نادری بلداجی و همکاران، ۱۳۹۶). از این منظر می‌توان با تخمین شاخص مخروط و با اعمال یک فاکتور تجربی تنش پیش‌تراکم را تخمین زد.

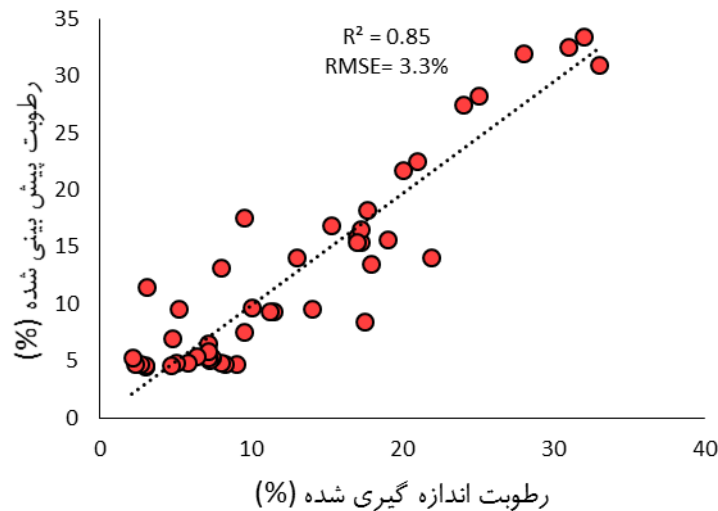
(Elbanna & Witney, 1987) مدلی تحلیلی (رابطه ۳) برای محاسبه شاخص مخروط در عمق ۰-۳۰ cm ارائه دادند که دارای دو عبارت مرتبط با چسبندگی خاک و زاویه اصطکاک داخلی می‌باشد:

$$CI = [K_c \cdot R_c \cdot e^{-0.01 \cdot \theta / (1 + R_c)} + K_\phi \cdot \gamma \cdot (1 + 2R_c)] \cdot e^{\pi(1 + 2R_c)} \quad (3)$$

که CI مقاومت نفوذ سنج مخروطی (MPa)،  $K_c$  ضریب چسبندگی خاک (بدون بعد)،  $R_c$  نسبت رس (بدون بعد)،  $\theta$  درصد رطوبت خاک (بدون بعد)،  $K_\phi$  ضریب مربوط به اصطکاک داخلی خاک (بدون بعد)،  $\gamma$  وزن مخصوص خاک ( $\text{kN/m}^3$ ). مطالعات تجربی در خاک‌های اسکاتلند، میزان ضریب چسبندگی و اصطکاک را به ترتیب ۳/۶۲ و  $10^{-3} * ۶/۶۳$  نتیجه داد. نسبت رس  $R_c$  نسبت درصد رس به جمع درصد سیلت و شن خاک است که با توجه به ترکیب بافت خاک مزرعه مورد مطالعه این نسبت ۰/۶۱ بدست آمد.

## نتایج و بحث

نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که رطوبت خاک از متغیرهای هواشناسی دما، تابش، سرعت وزش باد، بارش یک روز قبل و بارش روز نمونه‌گیری با  $R^2 = ۰/۸۵$  و  $RMSE = ۳/۳\%$  پیش‌بینی شد (شکل ۲). نتایج تحلیل‌های شبکه‌های عصبی نشان داد که پیش‌بینی بارش با استفاده از داده‌های ۲۰ سال قبل با ضریب  $R^2 = ۰/۷۹$  و  $RMSE = ۰/۸۹$  mm ممکن بوده که در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده قابل قبول است و می‌توان از آن برای پیش‌بینی رطوبت خاک استفاده کرد. سایر متغیرهای هواشناسی موثر در پیش‌بینی رطوبت خاک قابل پیش‌بینی از داده‌های هواشناسی سال‌های قبل می‌باشد. با استفاده از آزمون‌های تجربی برای تعیین ارتباط بین تنش پیش‌تراکم و رطوبت خاک و با ارزیابی یک مدل تحلیلی برای استحکام خاک می‌توان تغییرات روزانه تنش پیش‌تراکم خاک را در بافت‌های مختلف خاک پیش‌بینی نمود و برای برنامه‌ریزی‌های ماشینی و تعیین روزهای تردپذیر استفاده نمود. اساساً تنش پیش‌تراکم در هر بافت خاک با پتانسیل ماتریک که تابعی از رطوبت و چگالی است تغییر می‌کند. لذا پیشنهاد می‌شود به جای رطوبت و چگالی بعنوان متغیرهای فیزیکی خاک از مدل‌های پیش‌بینی پتانسیل ماتریک جهت پیش‌بینی استحکام خاک استفاده شود. توسعه این الگوریتم و مدل می‌تواند رویکرد مناسب و کم هزینه‌ای در خصوص برنامه‌ریزی‌های ماشینی هر سال زراعی برای مهندسين مکانیزاسیون کشاورزی جهت مدیریت صحیح تردد و تراکم خاک در مزارع باشد.



شکل ۲: رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده از مدل‌های شبکه عصبی

#### منابع

پوربصیرت، س. ۱۳۹۶. پیش‌بینی برخی عوامل تاثیرگذار بر عملیات کشاورزی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در شهرستان شهرکرد. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهرکرد.  
نادری بلداجی، م. همت، ع. و کلر، ت. ۱۳۹۶. بررسی ارتباط بین مقاومت نفوذسنج افقی و تنش پیش‌تراکم خاک. مجله مهندسی زراعی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، (تایید شده).

- Arvidsson J. and Keller T. 2004. Soil precompression stress I. A survey of Swedish arable soils. *Soil and Tillage Research*. 77: 85-95.
- Arvidsson J., Sjöberg E., Jon J. H. and Akker V. D. 2003. Subsoil compaction by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden III. Risk assessment using a soil water model. *Soil and Tillage Research*. 73: 77-87.
- Casagrande A. 1936. The determination of pre-consolidation load and its practical significance. *Proceedings of the international conference on soil mechanics and foundation engineering*. Cambridge, MA, 22-26 June (Vol. 3); (pp. 60-64).
- Earl R. 1997. Prediction of trafficability and workability from soil moisture deficit. *Soil and Tillage Research*. 40: 155-168.
- Elbanna E. B. and Witney B. D. 1987. Cone penetration resistance equation as a function of the clay ratio, soil moisture content and specific weight. *Journal of Terramechanics*. 24(1): 41-56.
- Gompertz B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of Royal Society of London*. 115: 513-585.
- Gosav S., Dinica R. and Praisler M. 2008. Choosing between GC-FTIR and GC-MS spectra for an efficient intelligent identification of illicit amphetamines. *Journal of Molecular Structure*. 887. 1-3: 269-278.
- Gut S., Chervet, A., Stettler M., Weisskopf P., Sturny W. G., Lamandé M., Schjønning P. and Keller T. 2015. Seasonal dynamics in wheel load-carrying capacity of a loam soil in the Swiss Plateau. *Soil Use and Management*. 31: 132-141.
- Hall T. Harold E.B and Charles A. D. 1998. Precipitation Forecasting Using a Neural Network. *Weather and Forecasting* 14: 338- 345.
- Hamza M. A. and Anderson W. K. 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions *Soil and Tillage Research*. 82: 121-145.
- Hemmat A., Yaghoubi-Taskoh M., Masoumi A. and Mosaddeghi M. R. 2014. Relationships between rut depth and soil mechanical properties in a calcareous soil with unstable structure. *Biosyst Eng*. 118: 147- 155.



- Hoogmoed W. B., Cadena-Zapata M. and Perdok U. D. 2003. Laboratory assessment of the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. *Soil and Tillage Research*. 74: 169–178.
- Horn R. Fleige H. Richter F.H. Czyz E.A. Dexter A. Diaz-Pereira E. Dumitru, E. Enarcho R. Mayol F. Rajkai K. de la Rosa D & Simota C. 2005. SIDASS project: Part 5: Prediction of mechanical strength of arable soils and its effects on physical properties at various map scales. *Soil and Tillage Research* 82(1): 47- 56.
- Koolen A.J. 1982. Precompaction stress determination on precompacted soil. *Proceeding of 9th ISTRO Conference*. Osijek. Yugoslavia. PP. 225-230.
- Lebert M. and Horn R. 1991. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil and Tillage Research*. 19: 275-289.
- Linker R., Shmulevich I., Kenny A. and Shaviv A. 2005. Soil identification and chemometrics for direct determination of nitrate in soils using FTIR-ATR mid-infrared spectroscopy. *Chemosphere* 61 (5): 652–658.
- Mosaddeghi M. R., Hemmat A., Hajabbasi M. A. and Alexandrou A. 2003. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*. 70: 53-64.
- Plamen N. George N. Varmuza K. 1999. Automatic classification of infrared spectra using a set of improved expert-based features. *Analytica Chimica Acta* 388: 145–159.
- Rotz C. A. and Harrigan T. M. 2005. Predicting Suitable Days For Field Machinery Operations In A Whole Farm Simulation. *American Society of Agr Eng*. 21(4): 563–571.
- Vogt S. and Sacher D. 2001. A neural network method for wind estimation using wind profiler data. *Meteorol Z*. 10 (6): 479–487.
- Vero S. E., Antille D. L., Lalor S. T. J. and Holden N. M. 2014. Field evaluation of soil moisture deficit thresholds for limits to trafficability with slurry spreading equipment on grassland. *Soil Use Manage*. 30: 69–77.

#### **A meteorological-based algorithm for daily prediction of soil trafficability in a field (Case study in Shahrekord)**

Zahra Saedi<sup>1</sup>, Mojtaba Naderi-Boldaji<sup>2</sup>, Bahram Hosseinzadeh-Samani<sup>2</sup>

- 1- Master student in Agricultural Machination Engineering, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University
- 2- Assistant Professors, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University

#### **Abstract**

In order to manage the traffic induced soil compaction in a field, the applied stress on soil with machinery traffic needs to be controlled below the soil bearing capacity (i.e. precompression stress,  $\sigma_{pc}$ ) to prevent increase in soil compaction. Precompression stress is primarily a function of soil moisture and secondarily soil texture. This study aimed at developing an empirical -analytical algorithm for daily prediction of soil precompression stress in a selected field at Shahrekord University. Statistical analyses showed that using the meteorology variables of each year including the precipitation of the target day and its previous day, temperature, radiation and wind velocity, daily changes in soil moisture could be well predicted ( $R^2 = 0.85$ , RMSE= 3.3%). To determine the relationship between the soil moisture and precompression stress, remolded soil samples were prepared at three bulk densities of 1.15, 1.22 and 1.3 Mg m<sup>-3</sup> and four moisture levels of 10, 15, 20 and 25% and subjected to step-wise confined compressive stress. Precompression stress was estimated at the point of maximum curvature on the void ratio- log stress curves with fitting Gompertz function. In addition, the analytical model of Elbanna & Witney (1987) was tested for extending the results to different soil textures. The results showed that the model predicts well the variations in precompression stress as affected by soil moisture. The algorithm developed in this study can be implemented in managing the machinery traffic and predicting the trafficable days of each year.

**Keywords:** Soil compaction, Machinery traffic, Precompression stress, Trafficable day