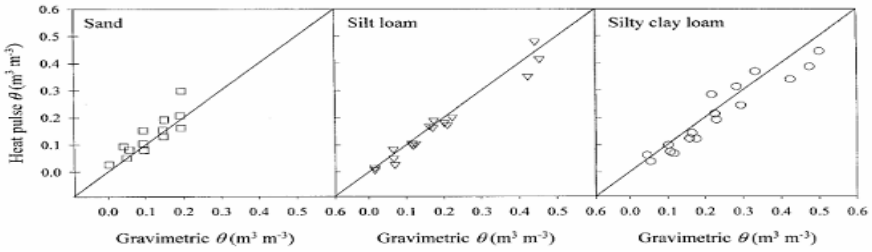
روش پالس گرمایی برای محاسبه درصد رطوبت خاک

محمدرضاعسگری[۱]، حمزه علی علیزاده[۲]، عبدالمجید لیاقت[۳]، بهزاد عسگری[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، [۲]دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، [۳]دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی کرج، دانشگاه تهران، [۴]کارشناسی ارشد عمران خاک و پی

مقدمه

اخیراً روش پالس گرمایی برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک توسط دستگاه DPHP[21] توسعه یافته است[۴،۷]. پژوهش‌های آزمایشگاهی و صحرایی انجام شده نشان داده‌اند که استفاده از این روش نسبت به سایر روش ها کم هزینه تر، دقیق تر و همچنین امکان اندازه گیری های مکرر در محل بصورت اتوماتیک وجود دارد[۳، ۹، ۱۰]. اندازه گیری های مکرر رطوبت در مقیاس های کوچک توانایی تحلیل دقیق تغییرات سه بعدی رطوبت در منطقه ریشه را فراهم می‌کند. فاصله میله ها[۳]، چگالی حجمی خاک[۲۲] [۹] و مینرالوژی خاک [۲] ممکن است روی دقت اندازه گیری های رطوبت با استفاده از روش پالس گرمایی تأثیر بگذارد. نتیجه تحقیقات [۸] نشان داد که بین رطوبت حجمی اندازه گیری شده با روش پالس گرمایی و روش وزنی در سه خاک ماسه ای، سیلتی لومی، سیلتی رسی لومی همسانی خوبی وجود دارد (شکل ۱). همچنین نتایج نشان داد که دقت این روش در بافت های سبک تا سنگین با چگالی های حجمی ρ_b مختلف حدوداً ± 2 درصد می باشد.



شکل ۱ : مقایسه ۱:۱ داده های اندازه گیری شده توسط دو روش وزنی و پالس حرارتی

استفاده از دستگاه پالس حرارتی طی سال های اخیر گسترش یافته بنحوی که دستگاه های چند کاره (MFP)[۲۳] آن به بازار آمده که توانایی اندازه گیری همزمان رطوبت و EC خاک را نیز دارد.

مواد و روش ها

اندازه گیری ظرفیت گرمایی حجمی خاک C با روش پالس حرارتی با استفاده از تئوری هدایت حرارتی شعاعی پالس های حرارتی کوتاه مدت و پیوسته از یک منبع خطی صورت می گیرد. تغییرات دما بعنوان تابعی از زمان در یک فاصله شعاعی از منبع پالس حرارتی در محیط خاک بصورت رابطه (۱) ارائه شده است[۵،۶]:

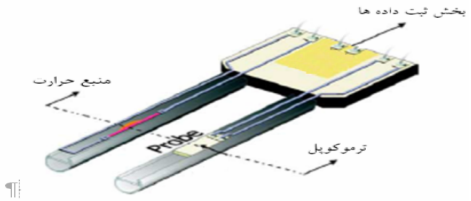
$$\Delta T(r,t) = \frac{q}{4\pi kC}\left[Ei\left(\frac{-r^2}{4k(t-t_0)}\right) - Ei\left(\frac{-r^2}{4kt}\right)\right] \quad t > t_0 \qquad (1)$$

که در آن ΔT: تغییرات دما (^{o}C)، t : زمان (s)، t_0 : مدت استمرار پالس گرمایی (s)، r : فاصله شعاعی از منبع (m)، (k) : ضریب انتشار حرارتی یا ضریب پخشیدگی حرارتی خاک ($m^2\ s^{-1}$)، C : ظرفیت گرمایی حجمی خاک ($J\ m^{-3}\ K^{-1}$) و : $Ei(x)$تابع انتگرال نمایی[۲۴] [۱].

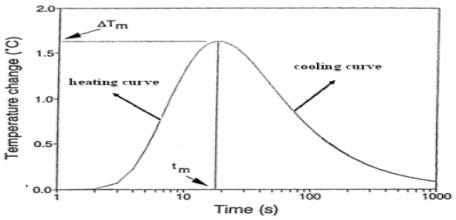
دستگاه پالس گرمایی (DPHP) شامل دو میله موازی فولادی ضد زنگ با فاصله ۶ میلیمتر از همدیگر می باشد که یکی از آنها منبع تولید حرارت و دیگری ترموکوپل برای اندازه گیری دمای خاک می باشد. جنس سیم ها، و ترموکوپل ها از نوعی

21 Dual Probe Heat Pulse
22 bulk density
23 Multi-Functional Probe
24 exponential integral

آلیاژ مسی[۲۵] می باشد (شکل ۲). پالس های گرمایی با بکارگیری جریان مستقیم که بوسیله یک منبع تولید جریان الکتریکی مستقیم تأمین می شود به مدت ۱۵ ثانیه تولید و باعث گرم شدن خاک اطراف هیتر و انتشار آن در خاک شده، به محض رسیدن این دما به ترموکوپل، تغییرات دما نسبت به زمان در مدت انتشار پالس گرمایی توسط ترموکوپل اندازه گیری و ذخیره می شود که نتایج حاصله بصورت نمودار (۱) می باشد.



شکل ۲ : دستگاه اندازه گیری ظرفیت گرمایی به روش پالس گرمایی



نمودار ۱ : منحنی تغییراب دما-زمان محاسبه شده توسط ترموکوپل

شکل ۳ : کاربرد دستگاه پالس گرمایی در مزرعه

از حل معادله Ei در قسمت خنک شونده و گرم شونده منحنی تغییرات دما نسبت به زمان روابط زیر حاصل و با توجه به آنها مقادیر ظرفیت گرمای حجمی و رطوبت خاک قابل محاسبه می باشد. شکل ۳ نمایی از کاربرد این دستگاه در مزرعه را نشان می دهد.

$$C = \frac{q}{(\pi e r^2 T_{max})},\ C = c_s x_s + c_o x_o + c_w \theta_v,\ c_s = \frac{\rho_b}{\rho_s},\ \rightarrow De\ \ vries\ \ (1963)\ \rightarrow\ C = 1.92\left(\frac{\rho_b}{\rho_s}\right) + 2.51\ x_o + 4.18\ \theta_v$$

$$\rightarrow \theta = \frac{\left(C - 1.92\left(\frac{\rho_b}{\rho_s}\right) - 2.5 x_o\right)}{4.18} \rightarrow \theta = \frac{\left(\frac{q}{(\pi e r^2 T_{max})} - 1.92\left(\frac{\rho_b}{\rho_s}\right) - 2.5 x_o\right)}{4.18}$$

که در آن q : انرژی بکار رفته برای تولید پالس گرمایی در واحد طول میله ($J\ m^{-1}$)، r : فاصله بین دو میله (m)، T_{max} : دمای ماکزیمم اندازه گیری شده در میله ترموکوپل (نقطه ماکزیمم منحنی در نمودار۱)، t_m : زمان لازم برای رسیدن به دمای ماکزیمم از لحظه برقراری پالس حرارتی، x_s : کسر قسمت جامد خاک، x_o : کسر قسمت آلی خاک، ρ_b : چگالی حجمی ($kg\ m^{-3}$)، ρ_s = ۲۶۵۰ ($kg\ m^{-3}$)

نتیجه گیری

بعلت کوچکی دستگاه و نصب راحت می توان داده برداری را در هر لحظه در مزرعه انجام داد. امکان کاربرد این روش در مقیاس کوچک توانایی اندازه‌گیری پیوسته تغییرات رطوبت در محیط رشد ریشه، در طول فصل رشد گیاه را فراهم می کند که دید وسیعی از نحوه، شدت و میزان جذب آب توسط ریشه های گیاهان مختلف با اشکال مختلف ریشه به ما می دهد [۱۰].

منابع

[1] Abramowitz, M., and Stegun. I., 1972. Handbook of Mathematical Functions. Dover Publications, New York.
[2] Bristow, K.L. 1998. Measurement of thermal properties and water content of unsaturated sandy soil using dual-probe heat-pulse probes. Agric. For. Meteorol. 89:75–84.
[3] Bristow, K.L., G.S. Campbell, and K. Calissendorff. 1993. Test of heat-pulse probe for measuring changes in soil water content. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:930–934.
[4] Campbell, G.S., C. Calissendorff, and J.H. Williams. 1991. Probe for measuring soil specific heat using a heat-pulse method. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:291-293.
[5] D.A. de Vries, Thermal properties of soils, in: W.R. van Wijk (Ed.), Physics of Plant Environment, North-Holland, Amsterdam, 1963.
[6] Kluitenberg, G.J., J.M. Ham, and K.L. Bristow. 1993. Error analysis of the heat pulse method for measuring soil volumetric heat capacity. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:1444–1451.
[7] Ren, T., K. Noborio, and R. Horton. 1999. Measuring soil water content, electrical conductivity and thermal properties with a thermal time domain-reflectometry prob. Soil Sci. Am. J. 63:450-457.

[25] chromel constantan

[8] Ren, T., T.E. Ochsner, R. Horton, and Z. Ju. 2003. Heat-Pulse Method for Soil Water Content Measurement: Influence of the Specific Heat of the Soil Solids. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:1631–1634.
[9] Tarara, J.M., and J.M. Ham. 1997. Measuring soil water content in the laboratory and field with dual-probe heat-capacity sensors. Agron. J. 89:535–542.
[10] Song, Y., M.B. Kirkham, J.M. Ham, G.J. Kluitenberg. 1999. Dual probe heat pulse technique for measuring soil watercontent and sunflower water uptake. Soil & Tillage Research. 50: 345-348.