# تخمین منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از ویژگی های زود یافت خاک

**سحر هادی پور[1]، حمیدرضا فولادمند[2]**

1- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

2- استادیار آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده (hadipour.sahar@gmail.com)

**چکیده**

منحنی مشخصه آب خاک یکی از مهمترین ویژگی های خاک است که بیانگر ارتباط بین دو پارامتر رطوبت و پتانسیل ماتریک خاک می باشد. به دلیل وقت گیر و پرهزینه بودن اندازه‌گیری مستقیم این منحنی، مدل های متعددی برای تخمین آن ارائه شده است. در بین مدل های مختلف، مدل رطوبتی ونگنوختن یکی از مناسب ترین و معروفترین آن هاست. در این تحقیق روابطی به صورت توابع انتقالی بین عوامل مدل ونگنوختن و ویژگی های زود یافت خاک برای تعدادی از خاک های استان فارس ارائه گردیده است که از روی آن ها می توان منحنی مشخصه را تخمین زد.

**کلمات کلیدی**: **توابع انتقالی، مدل ون گنوختن، منحنی مشخصه آب خاک**

**مقدمه**

چنانچه رابطه بین مکش آب خاک و درصد رطوبت خاک به صورت نمودار رسم شود یک منحنی به دست می آید که به آن منحنی مشخصه آب خاک می گویند. این منحنی به عنوان یکی از مهمترین خصوصیات هیدرولیکی خاک، در مسائل مختلف آب و خاک مانند آبیاری و زهکشی، حفاظت خاک و حرکت مواد آلاینده در خاک از اهمیت زیادی برخوردار است (عباسی، 1386). با این حال اندازه گیری مستقیم منحنی مشخصه آب خاک معمولاً مستلزم صرف هزینه و زمان زیاد می باشد. لذا مدل های متعددی برای تخمین آن ارائه شده است (بروکس و کوری، 1964؛ کمپل، 1974؛ ونگنوختن، 1980؛ شیرازی و بورسما، 1984؛ آسولین و همکاران، 1998).

یکی از متداول‌ترین روش‌های موجود در این زمینه استفاده از توابع انتقالی [1] است. با استفاده از توابع انتقالی منحنی مشخصه به وسیله پارامترهای زودیافت خاک که اندازه‌گیری آن‌ها ساده‌تر و متداول‌تر است، قابل تخمین است. در این تحقیق مدل ونگنوختن (1980) جهت تخمین منحنی مشخصه آب خاک برای تعدادی از خاک های استان فارس مورد مطالعه قرار گرفته است. اگرچه توابع انتقالی زیادی برای مدل های چند متغیره و بویژه مدل ونگنوختن (1980) تدوین شده اند، با این حال مسئله انتقال توابع انتقالی از محل تولید آن به محل دیگری با خصوصیات کم و بیش یکسان و یا متفاوت، هنوز به طور کامل حل نشده است. به طوری که توابع انتقالی ایجاد شده از روی خاک های منطقه ای خاص ممکن است برای خاک‌های تمام مناطق مناسب نباشد (توماسلا و هودنت، 1998؛ توماسلا و همکاران، 2000؛ نمس و همکاران، 2003). از این رو ایجاد توابع انتقالی جدید، می تواند از راهکارهای بهبود بخشیدن به تخمین منحنی مشخصه آب خاک در هر منطقه باشد. لذا هدف از این مطالعه واسنجی مدل ونگنوختن (1980) و ارائه توابع انتقالی پارامتریک مناسب جهت تخمین منحنی مشخصه آب خاک برای تعدادی از خاک های استان فارس می باشد.

1- Pedotransfer Functions

## مواد و روشها

برای انجام این تحقیق 30 نمونه خاک دست خورده و دست نخورده از اعماق 0 تا 30 سانتی متری و از مناطق مختلف استان فارس تهیه گردید. پس از تهیه نمونه‌های خاک و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه، بافت خاک شامل درصد ذرات رس، سیلت و شن با ترکیب روش‌های هیدرومتر و شستشو با الک تعیین گردید و میانگین و انحراف معیار هندسی قطر ذرات هر خاک بر اساس روش ارائه شده توسط شیرازی و بورسما (1984) محاسبه شد. منحنی مشخصه آب خاک هر نمونه خاک با ترکیب روش‌های ستون آویزان برای مکش‌های صفر، 30، 60، 90 و 120 سانتی‌متر (معادل صفر، 3، 6، 9 و 12 کیلوپاسکال) و دستگاه صفحات فشاری برای مکش‌های 30، 100، 500، 1000 و 1500 کیلوپاسکال (معادل 300، 1000، 5000، 10000 و 15000 سانتی متر) اندازه‌گیری گردید. مقدار ماده آلی هر خاک نیز با استفاده از روش‌های متداول آزمایشگاهی اندازه‌گیری گردید.

مدل رطوبتی ون گنوختن (1980) که در این تحقیق از آن استفاده شده است دارای معادله زیر می باشد:

$$\frac{q-q_r}{q_s-q_r}=\left[1+(ah)^n\right]^{-m} \quad \text{و} \quad m=1-\frac{1}{n} \qquad [1]$$

که در آن $\theta$ میزان رطوبت حجمی خاک ($cm^3\ cm^{-3}$) در مکش ماتریک h(cm) ، $\theta_r$ و $\theta_s$ به ترتیب رطوبت حجمی باقیمانده و رطوبت حجمی اشباع خاک ($cm^3\ cm^{-3}$) و $\alpha$، n و m پارامترهای معادله می‌باشند که شکل منحنی مشخصه آب خاک از آن ها متاثر می شود.

برای استفاده از این مدل باید پارامتر های معادله معلوم باشد. بنابراین ابتدا پارامتر های مدل برای هر خاک به طور جداگانه و بر اساس منحنی مشخصه اندازه گیری شده با استفاده از منوی Solver از نرم افزار Excel تعیین شدند. در این راستا این پارامتر ها به نحوی تعیین گردیدند که مجموع مربعات خطا بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده توسط مدل حداقل گردد. سپس تلاش گردید با استفاده از رگرسیون خطی چند گانه و روابط گام به گام، بین این پارامترها و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه گیری شده برای خاک های این پژوهش، روابط مناسبی به صورت توابع انتقالی ایجاد گردد. در مرحله ایجاد توابع از حدود 80 درصد کل خاک های اندازه گیری شده در این تحقیق که شامل 22 نمونه خاک می باشد استفاده شد و 8 نمونه خاک دیگر برای مرحله ارزیابی کنار گذاشته شد. در جدول 1 خلاصه مشخصات خاک های مورد استفاده در مرحله واسنجی توابع نشان داده شده است. همچنین در جدول 2 این مشخصات برای خاک های مورد استفاده در مرحله ارزیابی ارائه شده است.

**جدول 1- میانگین مشخصات خاک های به کار رفته در مرحله واسنجی توابع**

| | درصد رس | درصد سیلت | درصد شن | میانگین هندسی قطر ذرات(mm) | انحراف معیار هندسی قطر ذرات(mm) | چگالی ظاهری(gr/cm3) | درصد ماده آلی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حداقل | 1 | 16 | 8 | 0/009 | 6/21 | 1/16 | 0/24 |
| حداکثر | 42 | 62 | 80 | 0/431 | 12/24 | 1/69 | 3/20 |
| میانگین | 19 | 46 | 34 | 0/103 | 9/26 | 1/36 | 1/64 |

**جدول 2- میانگین مشخصات خاک های به کار رفته در مرحله ارزیابی توابع**

| | درصد رس | درصد سیلت | درصد شن | میانگین هندسی قطر ذرات(mm) | انحراف معیار هندسی قطر ذرات(mm) | چگالی ظاهری(gr/cm3) | درصد ماده آلی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حداقل | 6 | 18 | 4 | 0/007 | 6/66 | 1/08 | 0/37 |
| حداکثر | 46 | 60 | 76 | 0/349 | 10/16 | 1/63 | 3/35 |
| میانگین | 21 | 47 | 32 | 0/096 | 8/65 | 1/37 | 1/40 |

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از تخمین مدل با استفاده از توابع ایجاد شده، از شاخص های آماری خطای استاندارد (SE)، نسبت خطای متوسط هندسی(GMER) و نسبت خطای انحراف استاندارد هندسی (GSDER) استفاده گردید که به ترتیب از روابط زیر قابل محاسبه اند:

$$SE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2}{n-1} \right]^{0.5} \quad [2]$$

$$e_i = \frac{y_i}{x_i} \quad [3]$$

$$GMER = \exp\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \ln(e_i) \right] \quad [4]$$

$$GSDER = \exp\left[ \left( \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} [\ln(e_i) - \ln(GMER)]^2 \right)^{0.5} \right] \quad [5]$$

حداقل مقدار SE برابر صفر است و هرچه مقدار آن کمتر باشد مناسب تر است. در روابط فوق e نسبت خطا می باشد. چنانچه مقدار GMER برابر یک شود مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده کاملا بر هم منطبق شده اند. در صورتی که GMER کمتر از یک شود مقادیر تخمین زده شده کمتر از مقادیر اندازه گیری و چنانچه مقدار آن بیشتر از یک شود مقادیر تخمین زده شده بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده می باشند. همچنین چنانچه مقدار GSDER برابر یک شود مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده کاملا بر هم منطبق شده اند و افزایش GSDER نسبت به یک بیانگر افزایش فاصله بین مقادیر تخمین زده شده نسبت به مقادیر اندازه گیری شده می باشد. بنابراین مناسبترین حالت آن است که مقدار GMER نزدیک به یک و مقدار GSDER نیز کوچک باشد (از عدد یک خیلی بزرگتر نباشد).

**ساختار توابع واسنجی شده**

توابع انتقالی به دست آمده برای پارامتر های مدل ون گنوختن به صورت زیر می باشند:

$$q_r = -5.033 - 0.71(om) + 0.055(sand) - 0.514(d_g^{0.5}) + 3.498 d_g - 9.791(d_g^{0.5}) - 1.444(\ln om) + 7.712(om^{0.3}) \quad R^2 = 0.67 \quad [6]$$

$$n = 9.604 + 0.959(d_g) + 0.256(d_g^{0.5}) - 5.695(d_g^{0.5}) \quad R^2 = 0.65 \quad [7]$$

$$a = Exp(-44.063 - 2.567(d_g) - 0.469(sand) - 1.349(om^{0.5}) + 63.416(d_g{}^{0.5}) + 21.473(d_g{}^{0.5})) \quad [8]$$

$$R^2 = 0.62$$

که در آن ها sand بیانگر درصد شن، om درصد مواد آلی خاک، $d_g$ و $\sigma_g$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک می باشند.

این توابع با استفاده از ویژگی های زودیافت خاک پارامتر های مدل ون گنوختن را برآورد می سازند.

## نتیجه‌گیری

در جدول 3 مقادیر SE ، GMER و GSDER برای مدل مورد نظر در 8 خاک مورد استفاده در مرحله ارزیابی ارائه شده است. عملکرد توابع ایجاد شده با توجه به این مقادیر مورد بررسی قرار می گیرد.

**جدول3- مقادیرSE ، GMER و GSDER در مرحله ارزیابی توابع**

| شاخص | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | میانگین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SE | 0/05 | 0/03 | 0/02 | 0/10 | 0/06 | 0/01 | 0/02 | 0/04 | 0/04 |
| GMER | 0/85 | 0/89 | 1/08 | 0/67 | 1/22 | 1/03 | 1/07 | 1/07 | 0/98 |
| GSDER | 1/18 | 1/05 | 1/07 | 1/32 | 1/09 | 1/05 | 1/04 | 1/09 | 1/11 |

در این جدول میانگین مقدار SE برابر 0/04 به دست آمده است که کوچک و نزدیک به صفر می باشد.

میانگین مقدار GMER برابر با 0/98 می باشد که نشان می دهد مقایر تخمین زده شده کمتر از مقادیر اندازه گیری می باشند. از سوی دیگر مقادیر GSDER برابر 1/11 به دست آمد که کوچک و نزدیک به یک می باشد. این نتایج نشان می دهد که توابع ارائه شده با دقت قابل قبول و نسبتاً خوبی برای تخمین منحنی مشخصه آب خاک می توانند به کار برده شوند.از این رو با اندازه گیری پارامتر های ورودی توابع فوق می توان منحنی مشخصه آب خاک را که اندازه گیری آن وقت گیر و مشکل می باشد به راحتی تخمین زد.

**منابع**

عباسی ف، 1386. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران.250 ص.

Assouline, S., D. Tessier, and A. Bruand. 1998. A conceptual model of the soil water retention curve. Water Resour. Res. 34: 223–231.

Brooks RH, and. Corey AT, 1964. Hydraulic properties of porous media. Colorado State University, Hydrology Paper No. 3., Fort Collins, USA.

Campbell GS, 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci. 117: 311-314.

Nemes A, Schaap MG, and Wosten JHM, 2003. Functional evaluation of pedotransfer functions derived from different scales of data collection. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1093-1102.

Shirazi MA, and Boersma L, 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 142-147.

Tomasella J, and Hodnett MG, 1998. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. Soil Sci. 163: 190–202.

Tomasella J, Hodnett MG, and Rossato L, 2000. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 327–338.

van Genuchten MTh, 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.