نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۴، بهمن - اسفند ۱۳۹۹، ص. ۲۲۴۳-۲۲۳۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 14, Feb.-Mar. 2021, p. 2234-2243

مقاله پژوهشی

تأثیر میانگین شعاع ذرات خاک در برآورد منحنی رطوبتی آب –خاک بر اساس مدل آریا و پاریس

محمد مهدی چاری[۱*]، علیرضا وحیدی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۲

چکیده

با توجه به اینکه به دست اوردن توزیع اندازه ذرات نسبت به منحنی رطوبتی خاک ساده‌تر است تعدادی از پژوهشگران از تشابه بین منحنی توزیع تجمعی اندازه ذرات و منحنی مشخصه رطوبتی خاک برای به دست آوردن منحنی رطوبتی استفاده می‌کنند که یکی از آنها مدل آریا و پاریس است. مدل آریا و پاریس یک مدل فیزیکی–تجربی است که به طور گسترده برای به دست آوردن منحنی رطوبتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل ابتدا منحنی توزیع اندازه ذرات به n بخش مجزا تقسیم شده و قطر هر بخش برابر با میانگین قطر بخش بالایی و پایین است. در این مدل معمولا از میانگین‌گیری حسابی استفاده می‌شود. در این پژوهش تاثیر انتخاب میانگین حسابی، هندسی و هارمونیک به عنوان شعاع متوسط ذرات جامد در بافت‌های مختلف خاک و مکش‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ۱۹ نمونه خاک در دشت سیستان با بافت‌های شنی، لوم شنی، لومی، لوم سیلتی و رسی مورد ارزیابی قرار گرفت. در خاک با بافت سبک مانند خاک شنی و لوم شنی بهترین نتایج زمانی به دست آمد که از میانگین هارمونیک استفاده شد. در خاک‌های لوم و لوم سیلتی بهترین نتایج زمانی به دست آمد که از میانگین‌گیری هندسی به عنوان قطر میانگین بخش‌های مختلف خاک استفاده شد. در خاک سنگین مانند خاک رسی بهترین نتایج مربوط به میانگین‌گیری حسابی بود. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از میانگین‌گیری با روش‌های مختلف باعث افزایش دقت مدل آریا و پاریس در برآورد رطوبت خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، توزیع اندازه ذرات، منحنی مشخصه آب خاک

مقدمه

منحنی مشخصه آب–خاک یک از ویژگی‌های بنیادی خاک برای تعیین مقدار آب در دسترس گیاه و همچنین مدل‌سازی حرکت آب و املاح در خاک می‌باشد (Medina et al., 2002). تخمین منحنی مشخصه رطوبتی خاک باروش‌های مستقیم گران، وقت‌گیر و پرزحمت است لذاروش‌های غیر مستقیم برای بیان منحنی رطوبتی توسعه یافته‌اند. در این روش‌ها منحنی مشخصه آب–خاک با استفاده از پارمترهای زود یافت خاک (درصد شن، سیلت، رس و ...) به دست می‌آیند. در میان روش‌های غیر مستقیم، توابع انتقالی (Saxton et al., 1986; Rawls and Brakensiek, 1985; Vereecken et al., 1989; Wosten et al., 2001; Schaap; Haghverdi et al., 2012) و روش‌های استفاده از هندسه فرکتال (Tyler and Wheatcraft 1990; Rieu and Sposito, 1991; Bird et al., 2000; Ghanbarian- Alvijeh et al., 2010; Ghanbarian-Alvijeh and Hunt, 2012; Chari and Dahmardeh, 2019) به طور گسترده مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته‌اند.

در توابع انتقالی از خصوصیات ساده‌تر خاک نظیر بافت، چگالی ظاهری و مواد آلی جهت محاسبه منحنی رطوبتی استفاده می‌گرددکه شامل سه گروه ۱) برآورد میزان رطوبت در پتانسیل ماتریک مشخص (Ghanbarian and Millán, 2010)، ۲) برآورد رابطه نگهداشت آب خاک با یک نگرش مدل فیزیکی مفهومی (Arya and Paris, 1981; Arya et al., 1999) و ۳) برآورد پارامترهای یک تابع نگهداشت (Saxton et al., 1986; Wosten et al., 2001) می‌باشد.

با توجه به اینکه به دست اوردن توزیع اندازه ذرات نسبت به منحنی رطوبتی خاک ساده‌تر است آریا و پاریس بر مبنای تشابه بین منحنی توزیع تجمعی اندازه ذرات و منحنی مشخصه رطوبتی خاک یک روش فیزیکی–تجربی (ترکیبی از فرض‌های فیزیکی و روابط تجربی) بر اساس توزیع اندازه ذرات و چگالی ظاهری خاک برای به دست آوردن منحنی مشخصه آب –خاک ارائه کردند (Arya and

۱– استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل
۲– استادیار گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی بم
(*– نویسنده مسئول: Email: mmahdichari@uoz.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.18.9

Paris, 1981؛ Sepaskhah and Rafiee, 2008). با توجه به سادگی و اهمیت مدل آریا و پاریس تحقیقاتی زیادی در زمینه استفاده از این مدل در برآورد منحنی رطوبتی صورت گرفته است. در این مدل ابتدا منحنی توزیع اندازه ذرات به n بخش مجزا تقسیم شده و قطر هر بخش برابر با میانگین قطر بخش بالایی و پایین است و معمولا از میانگین‌گیری حسابی استفاده می‌شود (رضایی و همکاران، ۱۳۹۰). در این مدل از یک پارامتر مقیاس (α) استفاده می‌شود که نقش بسیار مهمی در تعیین منحنی رطوبتی دارد (فولادمند و همکاران، ۱۳۸۳). با استفاده از پارامتر مقیاس می‌توان شعاع منافذ را از روی شعاع ذرات خاک تخمین زد.

آریا و پاریس نتیجه گرفتند که مقدار پارامتر مقیاس برای خاک‌های مورد آزمایش بین ۱/۳۵ تا ۱/۴ بوده و به طور متوسط برابر با ۱/۳۸ در نظر گرفتند (Arya and Paris, 1981). آریا و همکاران از سه روش مقدار ثابت (۱/۳۸)، خطی، لجستیک (غیر خطی S شکل) پارامتر مقیاس را به دست آورده و منحنی رطوبتی را پیش‌بینی کردند (Arya et al., 1999).

تایلر و ویت کرافت با استفاده از بعد فرکتال به دست آمده از مقادیر تعداد ذرات خاک در مقابل شعاع ذرات خاک برای بخش‌های مختلف مقدار پارامتر مقیاس را به دست آوردند و نشان دادند که پارامتر مقیاس دارای مفهوم فیزیکی است (Tyler and Wheatcraft, 1989). واز و همکاران با ارزیابی اعتبار مدل آریا و پاریس در ۱۰۴ نمونه از خاک‌های برزیل نشان دادند که استفاده از روش پارامتر مقیاس متغییر باعث افزایش دقت برآورد منحنی رطوبتی می‌شود. واز و همکاران پارامتر مقیاس را به صورت تابعی از مقدار رطوبت بیان کردند (Vaz et al., 2005). رضایی و همکاران (۱۳۸۳) ضرایب پیشنهادی آریا و همکاران (۱۹۹۹) برای برآورد پارامتر مقیاس در روش خطی را به گونه‌ای اصلاح کردند که این ضرایب مستقل از بافت خاک بوده و به چگالی ظاهری و نسبت پوکی بستگی داشته باشد. تاو و همکاران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل آریا و پاریس یک روش جدید برای محاسبه منحنی رطوبتی آب –خاک ارائه کردند و نشان دادند که این روش دارای دقت مناسبی است (Tao et al., 2017).

هوانگ و همکاران روش آریا وپاریس و فردلاند و همکاران (۲۰۰۲) را در پیش‌بینی منحنی رطوبتی برای تعدادی از نمونه‌های خاک کشور چین مورد مقایسه قرار دادند. در این تحقیق برای بدست آوردن پارامتر مقیاس در روش آریا و پاریس از روش خطی و از میانگین حسابی شعاع ذرات استفاده کردند. نتایج نشان داد که دقت روش فردلاند و همکاران (۲۰۰۲) بیشتر از روش آریا و پاریس است (Huang et al., 2009). رضایی و همکاران (۱۳۹۰) شش روش مختلف برآورد پارامتر مقیاس شامل مقدار ثابت، خطی، لجستیک، تایلر و ویت‌کرافت (۱۹۸۹)، واز و همکاران (۲۰۰۵)، رضایی و همکاران (۱۳۸۳) برای ۱۴ نمونه خاک منطقه شرق گیلان با بافت‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش خطی دارای بالاترین دقت می‌باشد. آنتنورو و همکاران روش‌های مدل لجستیک و خطی را در برآورد پارامتر مقیاس برای تعدادی از خاک‌هاس سسیل مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که که مدل لجستیک دارای دقت کمی بیشتر از مدل خطی هست. و در انتها رابطه‌ای بین فاکتور مقیاس بهینه و مقدار رس خاک و چگالی ظاهری خاک ارائه کرد (Antinoro et al., 2014).

اگرچه تحقیقات نسبتاً جامعی در زمینه استفاده از مدل آریا و پاریس برای تخمین منحی رطوبتی صورت گرفته است اما تا کنون مطالعه‌ای در زمینه تاثیر انتخاب میانگین هندسی و هارمونیک به عنوان شعاع متوسط ذرات جامد در بخش‌های مختلف منحنی دانه‌بندی صورت نگرفته است. در نتیجه این پژوهش با هدف مقایسه میانگین حسابی، هندسی و هارمونیک به عنوان شعاع متوسط ذرات جامد در بافت‌های مختلف خاک و مکش‌های متفاوت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مدل آریا و پاریس

روابط پایه‌ای مدل آریا و پاریس که ارتباط رطوبت حجمی و مکش آب در خاک را بیان می‌کند به صورت زیر است:

$$V_{Vi} = \left(\frac{w_i}{\rho_s}\right) e = \pi r_i^2 l_i \quad (۱)$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_b} - 1 \quad (۲)$$

$$\theta_i = \rho_b \sum_{j=1}^{i} V_{Vj} \quad (۳)$$

$$n_i = \frac{3w_i}{4\pi\rho_s \bar{R}_i^3} \quad (۴)$$

$$l_i = 2n_i^{\alpha_i} R_i \quad (۵)$$

$$r_i = 0.186\bar{R}_i \sqrt{en_i^{(1-\alpha_i)}} \quad (۶)$$

$$h_i = \frac{2\gamma cos\beta}{\rho_w g r_i} \quad (۷)$$

و با استفاده از ترکیب معادله (۶) و (۷) داریم:

$$h_i = \frac{0.18}{\bar{R}_i \sqrt{en_i^{(1-\alpha_i)}}} \quad (۸)$$

در روابط بالا اندیس i در تمامی مولفه‌ها نشان دهنده ارزش مولفه در iمین بخش از منحنی نوزیع اندازه ذرات است. V_{Vi} حجم منافذ خاک، w_i کسر جرمی ذرات خاک، ρ_s جرم مخصوص حقیقی، ρ_b جرم مخصوص ظاهری، r_i میانگین اندازه شعاع منافذ، l طول منافذ، e نسبت پوکی، θ_i رطوبت حجمی خاک هنگامی که تمام

منافذ از کوچکترین تا منافذ بخش i ام از آب پر شده باشد، n_i تعداد درات خاک با شکل کروی، $\bar{R}_i$ میانگین اندازه شعاع ذرات جامد کروی خاک، h مکش رطوبتی خاک و α پارامتر مقیاس است. γ و β به ترتیب کشش سطحی ($N\ m^{-1}$) و زاویه تماس آب با خاک است.

تعیین پارامتر مقیاس

برای تعیین α در ابتدا باید تعداد ذرات خاک با شکل واقعی (N_i) را در هر بخش از منحنی دانه‌بندی خام i به‌دست آورد. از آنجاکه ذرات خاک کاملا کروی نیستند فرض می‌شود که هر قسمت از منحنی دانه‌بندی تعداد ذرات کروی خاک (n_i) با تعداد ذرات واقعی خاک (N_i) با استفاده از پارامتر مقیاس (α_i) به هم مرتبط هستند:

$$n_i^{\alpha} = N_i \quad or \quad \alpha = \frac{logN_i}{logn_i} \qquad (۹)$$

به طور معمول برای اندازه‌گیری α از سه روش پارامتر مقیاس ثابت، منحنی رشد لجستیک و اصل تشابه استفاده می‌شود. نتایج بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد که دقت روش اصل تشابه بیشتر از دو روش دیگر است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۰، فولادمند و همکاران، ۱۳۸۳). در این تحقیق به منظور تعین α از اصل تشابه استفاده شد.

اصل تشابه

آریا و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که بین $logN_i$ و $\log\left(\frac{w_i}{R_i^3}\right)$ رابطه خطی وجود دارد:

$$logN_i = \mathrm{a} + \mathrm{b}\log\left(\frac{w_i}{\bar{R}_i^3}\right) \qquad (۱۰)$$

که در آن، a و b ثابت‌های تجربی هستند و به وسیله آریا و همکاران برای تعدادی از خاک‌ها ارائه شده است (Arya et al., 1999). از ترکیب رابطه (۹) و (۱۰) خواهیم داشت:

$$\alpha_i = \left[\frac{\mathrm{a} + \mathrm{b}\log\left(\frac{w_i}{\bar{R}_i^3}\right)}{logn_i}\right] \qquad (۱۱)$$

روش پیشنهادی

به طور معمول در تحقیقات گذشته برای به دست آوردن $\bar{R}_i$ برای بخش i ام منحنی دانه‌بندی از میانگین حسابی استفاده شده است:

$$\bar{R}_i = \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \qquad (۱۲)$$

در این پژوهش برای به دست آوردن مقدار شعاع متوسط ذرات خاک برای بخش i ام منحنی دانه‌بندی علاوه از میانگین حسابی از میانگین هندسی (رابطه، ۱۳) و میانگین هارمونیک (رابطه، ۱۴) استفاده شد:

$$\bar{R}_{Gi} = \sqrt{R_i . R_{i+1}} \qquad (۱۳)$$

$$\bar{R}_{Hi} = \frac{2}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{i+1}}} \qquad (۱۴)$$

تعیین مقدار متوسط شعاع ذرات خاک با استفاده هر هریک از روابط ۱۲، ۱۳ و ۱۴ سبب می‌گردد که مقدار n_i، α ، h_i و رطوبت حجمی را تحت تاثیر قرار گیرد. در این پژوهش مقدار متوسط شعاع ذرات خاک به دست آمده از روش‌های مختلف برای بافت‌های متفاوت خاک مورد بررسی قرار گرفت.

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از ۱۹ نمونه خاک با بافت‌های مختلف از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه سد سیستان در دانشگاه زابل استفاده شد که مشخصات آماری آنها در جدول (۱) موجود می‌باشد. بافت خاک به روش هیدرومتر و جرم مخصوص ظاهری با روش سیلندر محاسبه گردید. به منظور تعیین منحنی توزیع تجمعی اندازه ذرات خاک (احزای کوچکتر از ۲ میلی‌متر) از روش هیدرومتری ۸ قرائت استفاده شد. با استفاده از دستگاه صفحات فشاری میزان رطوبت هر نمونه خاک در سه تکرار در پتاسیل‌های صفر، ۵-، ۳۳-، ۱۰۰-، ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- بعضی از خواص فیزیکی خاک‌های این پژوهش

بافت خاک	تعداد	شن (٪)		سیلت (٪)		رس (٪)	
		حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
لومی	۸	۵۰	۲۹	۴۱	۲۹	۲۵	۱۵
رسی	۲	۲۲	۱۴	۳۷	۲۹	۵۶	۴۰
شنی	۲	۸۶	۸۴	۱۰	۹	۷	۴
لوم سیلتی	۴	۵۰	۳۵	۵۵	۵۰	۱۹	۱۱
لوم شنی	۳	۶۰	۵۳	۳۴	۲۰	۱۴	۹

ارزیابی روش‌ها

به منظور ارزیابی روش‌های مختلف در پیش‌بینی منحنی رطوبتی، از شاخص‌های آماری جذر مربع میانگین خطاهای نرمال شده (*NRMSE*، رابطه ۱۵)، میانگین خطا (*ME*، رابطه ۱۶)، نسبت میانگین خطای هندسی (*GMER*، رابطه ۱۷) و خط رگرسیون استفاده گردید:

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\Sigma(p_i - o_i)^2 / n}}{\overline{p}} \quad (۱۵)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{n}(o_i - p_i)}{n} \quad (۱۶)$$

$$GMER = \exp\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\ln(\varepsilon_i)}{n}\right] \quad (۱۷)$$

در این روابط o_i و p_i به‌ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در i، $\bar{0}$ و $\overline{p}$ میانگین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده، ε نسبت خطا که از تقسیم p_i به o_i به‌دست می‌آید و n تعداد نمونه‌ها می‌باشد. هرچه مقدار *NRMSE* و *ME* نزدیک به صفر باشد مدل مناسب‌تر است. مقدار بهینه *GMER* برابر با یک می‌باشد و تطبیق بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی را نشان می‌دهد. همچنین برای درک بهتر عملکرد مدل‌ها، مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل‌های مختلف برای خاک‌هایی با بافت مختلف رسم گردید.

نتایج و بحث

فاکتور مقیاس(α)

مقادیر حداقل و حداکثر پارامتر مقیاس (α) برای قسمت‌های مختلف منحنی دانه‌بندی هر خاک و سه روش میانگین‌گیری هندسی و میانگین‌گیری هارمونیک در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین مقدار پارامتر مقیاس مربوط به خاک لوم‌شنی و روش میانگین هارمونیک با مقدار ۱/۵۵ و کمترین مقدار مربوط به خاک رس و روش میانگین حسابی با مقدار ۱/۰۶۷ بود. بیشترین تغییرات فاکتور مقیاس مربوط به خاک شنی و لوم شنی است. مقدار فاکتور مقیاس در خاک‌های سبک بزرگتر از خاک‌های سنگین است. واز و همکاران نشان دادند که مقدار فاکتور مقیاس برای خاک‌های سبک (شنی و لوم شنی) بزرگتر از خاک‌های سنگین است (Vaz et al., 2005). نتایج فولادمند و همکاران (۱۳۸۳) و خشنود یزدی و قهرمان (۱۳۸۳) نیز با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در تمامی خاک‌ها روش میانگین حسابی دارای کمترین مقدار و روش میانگین هارمونیک دارای بیشترین مقدار است. روش میانگین هندسی مابین دو روش ذکر شده قرار داشت.

جدول ۲- مقدار حداکثر و حداقل α به دست آمده در خاک‌ها و روش‌های مختلف

بافت خاک	میانگین حسابی		میانگین هندسی		میانگین هارمونیک	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
شن	۱/۱۱	۱/۴۸	۱/۰۸	۱/۴۹	۱/۰۸	۱/۵۱
لوم شنی	۱/۱۵	۱/۵۰	۱/۱۳	۱/۵۲	۱/۱۲	۱/۵۵
لوم	۱/۲۴	۱/۳۵۳	۱/۲۵۱	۱/۳۷۲	۱/۲۶	۱/۴۱
لوم سیلتی	۱/۱۱	۱/۲۱	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۱۳	۱/۲۷
رس	۱/۰۶	۱/۲۳	۱/۰۸	۱/۲۵	۱/۰۸	۱/۲۵

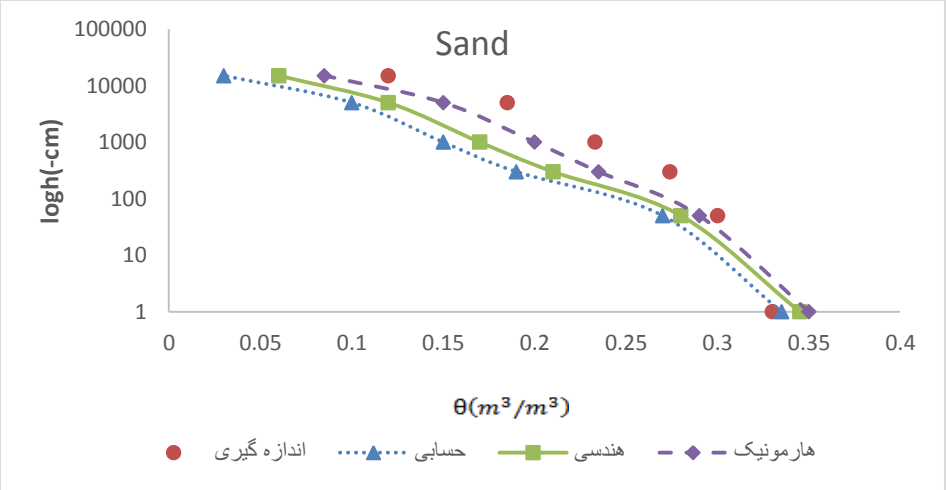
منحنی رطوبتی

در جدول ۳ پارامترهای آماری روش‌های مختلف شامل NRMSE، ME و GMER برای ۱۹ نمونه بافت خاک مختلف مورد مطالعه بیان گردیده است. همچنین برای درک بهتر در شکل‌های ۱ تا ۵ منحنی مشخصه آب خاک ۵ نمونه خاک با بافت مختلف با استفاده از شعاع ذرات به دست آمده از میانگین‌های حسابی، هندسی و هارمونیک محاسبه شده رسم گردیده است.

خاک شنی

شکل (۱) منحنی رطوبتی به دست آمده با روش‌های مختلف تعیین فاکتور مقیاس را برای خاک شنی نشان می‌دهد. به طور کلی شکل ۱ نشان می‌دهد که در مکش‌های کم دقت هر سه روش میانگین‌گیری تعیین فاکتور مقیاس نزدیک به یکدیگر بوده و با افزایش مکش اختلاف بین روش‌های محاسبه منحنی رطوبتی افزایش یافته است. بر اساس جدول ۳ کمترین مقدار NRMSE در خاک شنی برابر با ۰/۰۲۲ برای روش میانگین هارمونیک برای به

دست آوردن فاکتور مقیاس به دست آمده است و بیشترین مقدار NRMSE برابر با ۰/۲۹۵ برای میانگین حسابی است. مقدار ME برای به‌دست آوردن فاکتور مقیاس با استفاده از میانگین‌های حسابی، هندسی و هارمونیک به ترتیب برابر با ۰/۰۷۳، ۰/۵۲ و ۰/۰۲۷ $(\frac{m^3}{m^3})$ است. بیشترین مقدار GMER مربوط به روش میانگین‌گیری هارمونیک با مقدار ۰/۸۹۱ است. به طور کلی نتایج شکل ۱ و جدول ۲ نشان می‌دهد که در خاک شنی نتایج مربوط به استفاده از میانگین هارمونیک برای شعاع متوسط ذرات خاک بیشترین دقت را در مقایسه با سایر روش‌ها نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. کمترین دقت نیز مربوط به استفاده از میانگین حسابی برای شعاع متوسط ذرات خاک است. دقت میانگین هندسی از حسابی بیشتر و از میانگین هارمونیک کمتر می‌باشد.



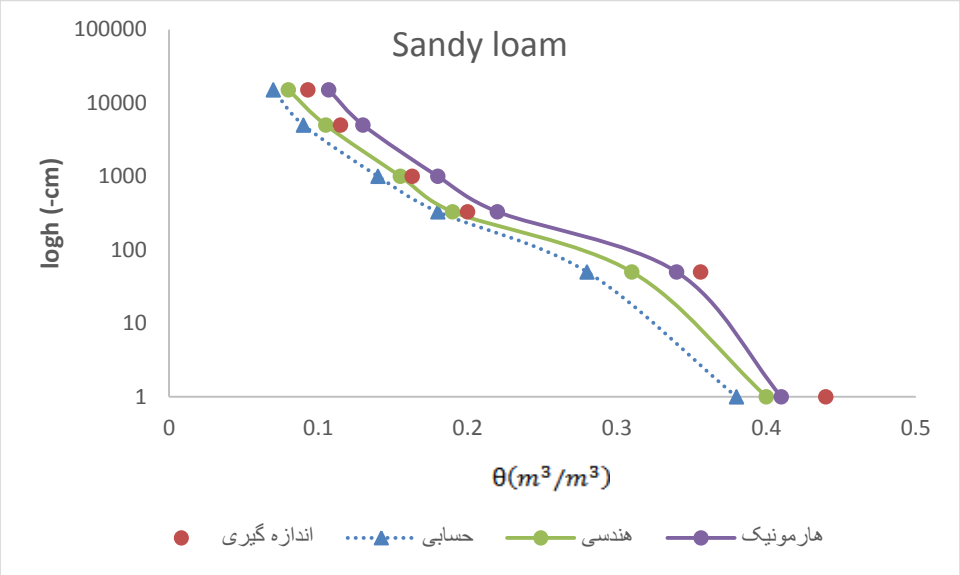
شکل ۱- منحنی مشخص آب خاک برای خاک شنی

خاک لوم شنی

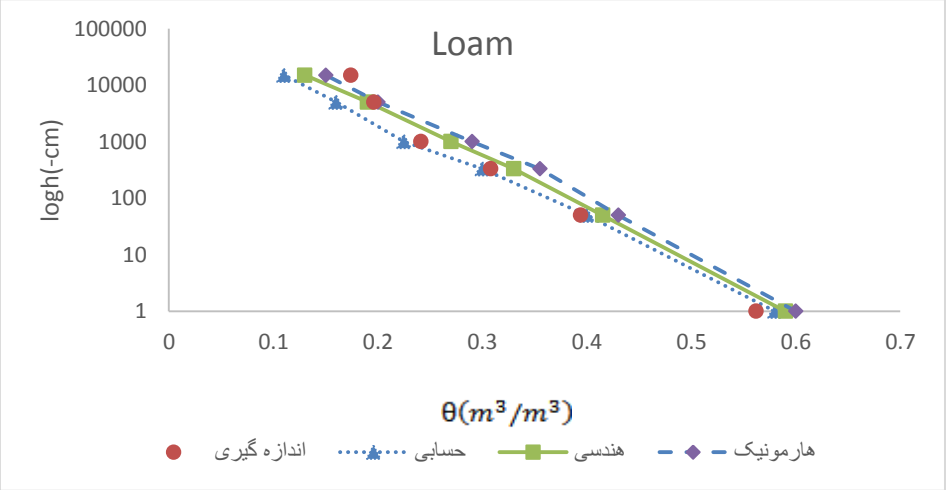
مطابق شکل (۲) در خاک لوم شنی برای مکش های کمتر از ۱۰۰ سانتی‌متر آب کم (در نتیجه خاک دارای رطوبت زیاد) روش میانگین‌گیری هارمونیک دارای دقت بیشتر نسبت به سایر موارد است. در مکش‌های متوسط دقت روش میانگین‌گیری هندسی بیشتر می‌شود به طوری که که مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده در مکش‌های ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ سانتی‌متر برابر با ۰/۱۶ و ۰/۱۱۵ بوده و رطوبت تخمین زده شده با روش میانگین‌گیری هندسی در این مکش‌ها به ترتیب برابر با ۰/۱۵۵ و ۰/۱۰۵ است. برای ۳ نمونه خاک لوم‌شنی مورد مطالعه در این تحقیق مقدار متوسط NRMSE به ترتیب برای میانگین‌گیری حسابی، هندسی و هارمونیک ۰/۲۹۷، ۰/۱۴۷ و ۰/۱۱۱ بود که نشان‌دهنده دقت بیشتر روش میانگین‌گیری هارمونیک در خاک لوم‌شنی است. مقدار ME در میانگین‌گیری حسابی و هندسی مقدار مثبت و در میانگین‌گیری هارمونیک دارای مقدار منفی بود که نشان‌دهنده کم‌برآورد روش میانگین‌گیری حسابی و هندسی و بیش‌برآورد روش میانگین‌گیری هارمونیک است. فولادمند و همکارن (۱۳۸۳) نشان دادند که روش میانگین‌گیری حسابی مقدار رطوبت را کم‌برآورد اندازه‌گیری می‌کند. روش میانگین‌گیری هارمونیک با GMER برابر با ۰/۹۱۳ دارای بهترین نتایج بود. با افزایش مکش در خاک لوم‌شنی دقت روش میانگین‌گیری هندسی و هارمونیک بیشتر از میانگین‌گیری حسابی است. روش میانگین‌گیری هارمونیک در خاک لوم‌شنی دارای بهترین نتایج بود.

خاک لوم

مطابق شکل ۳ در خاک لومی تا مکش نزدیک به ۱۰۰۰ سانتی‌متر دقت استفاده از میانگین‌گیری حسابی برای شعاع ذرات بیشتر از دو روش دیگر در تخمین رطوبت است. با افزایش مقدار مکش دقت استفاده از روش میانگین‌گیری حسابی برای شعاع ذرات کاهش می‌یابد و دقت روش میانگین‌گیری هندسی افزایش یافته است و در نهایت برای مکش‌های خیلی زیاد بیشترین دقت مربوط به میانگین‌گیری هارمونیک است. برای ۸ خاک با بافت لومی مقدار متوسط NRMSE برای میانگین‌های حسابی، هندسی و هارمونیک به ترتیب برابر با ۰/۱۵۷، ۰/۰۹۷ و ۰/۲۰۱ است. مقدار ME برای میانگین‌گیری حسابی برابر با ۰/۰۲۴ و برای میانگین‌گیری هارمونیک برابر با ۰/۳۷- است که نشانده این است که میانگین‌گیری حسابی مقدار رطوبت را کم‌برآورد و میانگین‌گیری حسابی مقدار رطوبت را بیش‌برآورد نشان می‌دهد. مقدار GMER مربوط به روش میانگین‌های حسابی، هندسی و هارمونیک به ترتیب برابر با ۰/۸۴۱، ۰/۹۵۵ و ۱/۱۲۴ بود. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در خاک لومی دقت روش میانگین هندسی بیشتر از دو روش دیگر است.



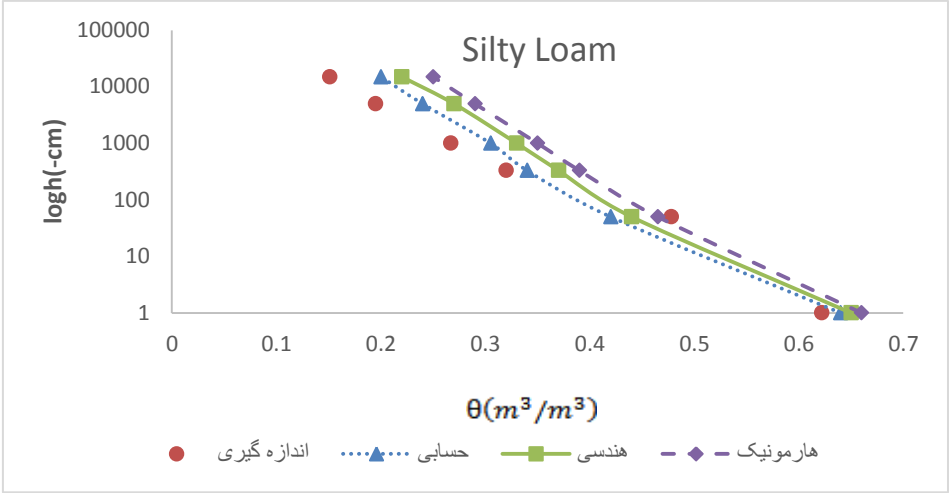
شکل ۲- منحنی مشخص آب خاک برای خاک لوم شنی



شکل ۳- منحنی مشخص آب خاک برای خاک لوم

خاک لوم سیلتی

برای نمونه خاک لوم سیلتی رسم شده در شکل ۴ مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده بین ۰/۶۲۲ تا ۰/۱۵۱ درصد حجمی است و در این خاک مقادیر رطوبت محاسبه شده با استفاده از میانگین‌گیری حسابی بین ۰/۶۴ تا ۰/۲۰ درصد حجمی، برای میانگین‌گیری هندسی ۰/۶۵ تا ۰/۲۲ و برای میانگین‌گیری هارمونیک بین ۰/۶۶ تا ۰/۲۵ است. کمترین مقدار NRMSE برای خاک‌های لومی سیلتی استفاده شده در این تحقیق برابر با ۰/۲۰۵ برای روش میانگین گیری حسابی بود. مقدار ME برای میانگین‌گیری حسابی، هندسی و هارمونیک به ترتیب برابر ۰/۰۱۹، ۰/۰۸۸- و ۰/۱۲۳- بود. مقدار ME منفی نشان دهنده بیش‌برآورد این روش‌ها میانگین‌گیری هندسی و هارمونیک در به دست آوردن رطوبت است. مقدار GMER دارای بهترین نتایج با مقدار ۰/۹۰۱ برای میانگین‌گیری حسابی بود. اگرچه دقت روش استفاده از میانگین‌گیری حسابی در برآورد رطوبت نسبت به دو روش هندسی و هارمونیک کمی بهتر است ولی به طور کلی روش آریا و پاریس در این خاک دارای کمترین دقت در بین خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش بود.

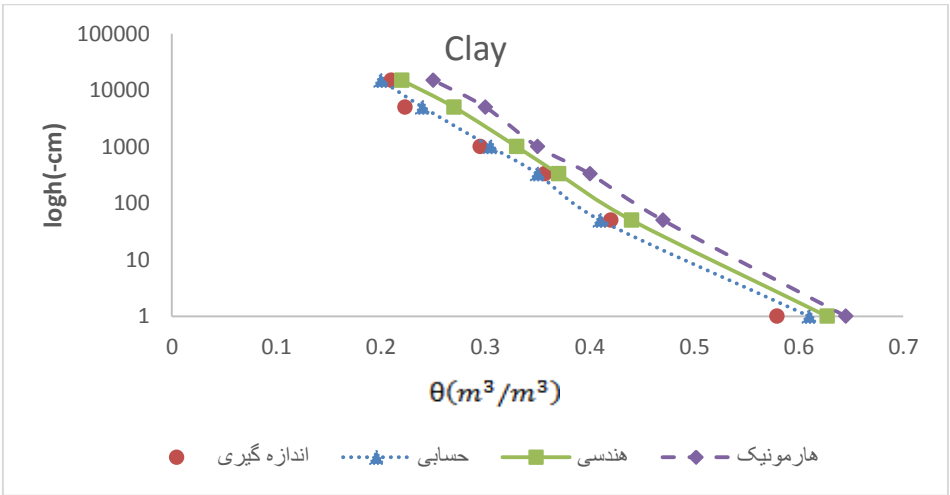


شکل ٤- منحنی مشخص آب خاک برای خاک لوم سیلتی

خاک رسی

در خاک رسی در مکش‌های کم و متوسط رطوبت تخمین زده شده با استفاده از میانگین‌گیری هندسی و حسابی نزدیک به رطوبت اندازه گیری شده است به طوری که که در مکش ۵۰ سانتی‌متر رطوبت اندازه‌گیری شده برابر با ۰/۴۲ درصد حجمی و رطوبت تخمین زده شده با میانگین‌گیری هندسی و حسابی به ترتیب برابر با ۰/۴۴ و ۰/۴۱ درصد حجمی و در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر مقدار رطوبت اندازه‌گیری برابر با ۰/۳۵۷ و رطوبت محاسبه شده با میانگین‌گیری هندسی ۰/۳۷ و حسابی ۰/۳۵ بود. مقدار رطوبت تخمین زده شده با روش میانگین‌گیری هارمونیک در مکش ۵۰ سانتی‌متر برابر با ۰/۴۷ و در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر ۰/۴ است (شکل ۵). مقدار ME برای دو نمونه خاک رسی مورد استفاده در این تحقیق در هر سه روش به دست آوردن رطوبت منفی بود که نشان دهنده بیش‌برآورد این سه روش در محاسبه مقدار رطوبت است. مقدار GMER برای هر سه روش بزرگتر از یک بود و برای روش میانگین‌گیری حسابی با مقدار ۱/۰۳۲ بهتر از دو روش دیگر است. به طورکلی در خاک رسی مقدار رطوبت تخمین زده شده با روش میانگین‌گیری هارمونیک دارای کمترین دقت و روش استفاده از میانگین‌گیری حسابی دارای بیشترین دقت است.

جدول (۴) مقایسه میانگین مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از میانگین‌گیری حسابی، هندسی و هارمونیک با استفاده از شاخص‌های آماری ریشه مربع میانگین خطاهای نرمال شده، میانگین خطا و نسبت میانگین خطای هندسی را برای تمامی خاک‌ها نشان می‌دهد.



شکل ٥- منحنی مشخص آب خاک برای خاک رسی

جدول ۳- مقادیر خصوصیات آماری روش‌های مختلف تعیین فاکتور مقیاس

بافت خاک	پارامتر آماری	میانگین حسابی	میانگین هندسی	میانگین هارمونیک
شن	NRMSE	۰/۳۳۲	۰/۲۷۵	۰/۲۰۳
	ME	۰/۰۷۳	۰/۰۴۵	۰/۰۲۷
	GMER	۰/۶۰۵	۰/۷۲۱	۰/۸۶۵
لوم شنی	NRMSE	۰/۲۹۷	۰/۱۴۷	۰/۱۱۱
	ME	۰/۰۴۷	۰/۰۳۹	−۰/۰۱۲
	GMER	۰/۸۷۰	۰/۹۱۳	۱/۰۹۷
لوم	NRMSE	۰/۱۵۷	۰/۰۹۷	۰/۲۰۱
	ME	۰/۰۲۴	۰/۰۱۰	−۰/۰۳۷
	GMER	۰/۸۴۱	۰/۹۵۵	۱/۱۲۴
لوم سیلتی	NRMSE	۰/۲۰۵	۰/۲۳۴	۰/۳۲۶
	ME	۰/۰۱۹	−۰/۰۸۸	−۰/۱۲۳
	GMER	۰/۹۰۱	۱/۲۳۴	۱/۳۵۴
رسی	NRMSE	۰/۰۵۸	۰/۱۰۵	۰/۲۰۴
	ME	−۰/۰۰۱	−۰/۰۷۸	−۰/۱۲۵
	GMER	۱/۰۳۲	۱/۱۵۴	۱/۱۶۸

مقدار NRMSE برای روش میانگین‌گیری حسابی، هندسی و هارمونیک به ترتیب برابر با ۰/۲۰۹، ۰/۱۷۱ و ۰/۲۱۹ است. مقدار ME برای روش میانگین‌گیری حسابی و هندسی مثبت بوده و برای میانگین‌گیری هارمونیک کوچکتر از صفر و منفی است. که نشان‌دهنده بیش‌برآورد روش میانگین‌گیری هارمونیک در برآورد رطوبت است. مقدار GMER دارای بهتریت نتایج در روش میانگین‌گیری هندسی با مقدار ۰/۹۸۷ است. به طور کلی نتایج برای کل خاک‌ها نشان می‌دهد که دقت روش میانگین‌گیری هندسی بهتر از دو روش دیگر می‌باشد اگرچه دقت دو روش دیگر نیز نزدیک به روش میانگین‌گیری هندسی است.

جدول ٤- مقادیر میانگین شاخص‌های آماری بر اساس روش‌های مختلف

پارامتر آماری	میانگین گیری حسابی	میانگین گیری هندسی	میانگین گیری هارمونیک
NRMSE	۰/۲۰۹	۰/۱۷۱	۰/۲۱۹
ME	۰/۰۳۳	۰/۰۰۳	−۰/۰۵۴
GMER	۰/۸۴۹	۰/۹۸۷	۱/۱۲۲

نتیجه‌گیری

به طور معمول در روش آریا و پاریس به منظور تخمین رطوبت از میانگین حسابی شعاع در هر بخش از منحنی دانه‌بندی استفاده می‌شود. در این پژوهش از روش میانگین‌گیری هندسی و میانگین‌گیری هارمونیک برای تخمین رطوبت استفاده شد و با رطوبت تخمین زده با روش میانگین‌گیری حسابی در خاک‌های متفاوت و مکش های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بر اساس شاخص آماری NRMSE، ME و GMER مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در خاک های شنی و لوم شنی روش میانگین‌گیری هارمونیک دارای دقت بیشتری از سایر روش است. در خاک با بافت لومی روش میانگین‌گیری هندسی دارای دقت بیشتری بود و در خاک‌هاس سنگین مانند خاک رسی و لوم‌سیلتی روش میانگین‌گیری حسابی دارای بیشترین دقت بود. همچنین بر اساس میانگین کل خاک‌ها روش میانگین‌گیری هندسی دارای بهترین نتایج بود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با کد پژوهانه UOZ-GR-9819-122 انجام شد که بدین‌وسیله از آن تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

خشنودیزدی، ع.ا.، و قهرمان، ب. ۱۳۸۳. بررسی روابط بافت خاک و پارامتر مقیاس‌بندی برای برآورد رطوبت خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۵(۲۰): ۱۷-۳۴.

رضـــایی، ح.، نیشـــابوری م. ر.، و سپاســـخواه ع ر. ۱۳۸۳. ارزیـــابی شبیه‌سازی منحنی مشخصه آب خاک بر اساس توزیع دانـه‌بنـدی ذرات خاک، مجله دانش کشاورزی. ۱۵(۲): ۱۱۹-۱۳۰.

رضایی، ل.، شعبانپور، م.، دواتگر، ن. ۱۳۹۰. برآورد پارامتر مقیاس بـه روشهای مختلف در مدل آریا و پاریس برای بهبود تخمین منحنی مشخصه آب خاک. دانش آب و خاک. ۳ (۲۱): ۱۰۳-۱۱۴.

فولادمنـد، ح.، سپاسـخواه، ع.ر.، نیـازی، ج. ۱۳۸۳. تخمـین منحنـی مشخصه آب خاک بـا اسـتفاده از منحنـی دانـه بنـدی و چگـالی ظاهری خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منـابع طبیعـی. ۳: ۱-۱۲.

Antinoro, C., Bagarello, V. Ferro, V., Giordano, G., and Iovino M. 2014. A simplified approach to estimate water retention for Sicilian soils by the Arya–Paris model. Geoderma 213: 226–234.

Arya, L.M., and Paris, JF. 1981. A physic empirical model to predict the soil moisture characteristic from particle size distribution and bulk density data. Soil Science Society of America Journal 45: 1023-1030.

Arya, L.M., Leij, F.J., van Genuchten, M.Th., and Shouse, P.J. 1999. Scaling parameter to predict the soilwater characteristic from particle size distribution data. Soil Science Society of America Journal 63: 510-519.

Bird, N., Perrier, E., and Rieu, M. 2000. The water retention curve for a model of soil structure with pore and solid fractal distributions. Eur. J. Soil Sci. 55:55–63.

Chari, M.M., and Dahmardeh, M.R. 2019. Evaluating fractal dimension of the soil particle size distributions and soil water retention curve obtained from soil texture components. Archive of agronomy soil science. https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1686140

Ghanbarian-Alavijeh, B., and Millán, H. 2010. Point pedotransfer functions for estimating soil water retention curve. Int. Agrophys 24: 243-251.

Huang, M., Fredlund, D.G., Fredlund M.D. 2009. Comparison of Measured and PTF Predictions of SWCCs for Loess Soils in China. Geotech Geol Eng. DOI 10.1007/s10706-009-9284-x.

Medina, H., Tarawally, M., del Valle, A and Ruiz, M.E. 2002: Estimating soil water retention curve in rhodic ferralsols from basic soil data. Geoderma 108: 277–285.

Rawls W.J., and Brakensiek, D.L. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. In: Jones E., Ward T.J. (Eds.), Watershed Manage. Eighties. Proceedings of the Sym-posium of ASAE, Denver, pp: 293–299.

Rieu, M., and Sposito, G. 1991. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: I. Theory. Soil Sci. Soc. Am. J, 55: 231 – 1238.

Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., and Papendick, R.I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am. J., 50, 1031–1036.

Sepaskhah, A.R., and Rafiee, M.R. 2008. Evaluation of scaling parameter to predict soil water characteristic curve using improved particle size distribution. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering 35 (B5):549-556.

Schaap, M.G., Nemes, A and van Genuchten, M.Th., 2004. Compar-ison of models for indirect estimation of water retention and available water in surface soils. Vadose Zone J. 3: 1455–1463.

Tao, H., Chen, C., Jiang, P., and Tang, L. 2017. Soil water characteristic curves based on particle analysis. Procedia Engineering 174: 1289-1295.

Tyler, S.W., and Wheatcraft, S.W. 1989. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. Soil Science Society of America Journal. 53: 987-996.

Tyler, S.W., and Wheatcraft, S.W. 1990. Fractal processes in soil water retention. Water Resour Research 26:1047–1054.

Vereecken, H., Maes J., Feyen, J., and Darius P. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. Soil Sci, 148: 389–403

Wosten J.H.M., Pachepsky, Y.A., and Rawls, W.J. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. Journal of Hydrology 251: 123–150.

Vaz, C.M.P., Iossi, M.F., Naime, J.M., Macedo, A., and Reichert JM, Reinert DJ and Cooper M, 2005. Validation of the Arya and Paris water retention model for Brazilian soils. Soil Science Society of America Journal 69: 577-583.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 14, Feb.-Mar. 2021, p. 2234-2243

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۴، بهمن - اسفند ۱۳۹۹، ص. ۲۲۴۳-۲۲۳۴

Effect of Mean Radius of Soil Particles on Estimation of Water-Soil Moisture Curve based on Aria- Paris Model

M.M. Chari[1]*, A.R. Vahidi [2]

Recived: May.26, 2020 Accepted: Oct.13, 2020

Abstract

It is much easier to measure solid phase data or particle size distribution than soil water retention curve, some researchers use the similarity between the shape of particle size distribution and soil water characteristic curve. One of the soil water characteristic curve is the Aria and Paris model. The Aria and Paris model is a physical based model that is widely used to obtain the soil water retention curve. In this model, the particle size distribution curve was divided into n separate fractions, which the diameter of each fraction is equal to the mean of the upper and lower limit diameter. This model usually uses arithmetic average. In this study, the effect of arithmetic mean, geometric and harmonic means as the mean radius of solid particles in different soil textures and suctions were investigated. For this purpose, 19 soil samples in SiStan regoin with sandy, sandy loam, loam, and silty loam and clay textures were evaluated. In coarse soils such as sandy and sandy loam, the best results were obtained when the harmonic mean was used In the loam and silt loam soils, the best results were obtained when geometric average was used as the mean diameter of the different fractions. In clay soil, the best results were related to arithmetic average. In general, it can be concluded that using the different methods of means the accuracy of Aria and Paris models increases in estimating the water content.

Keywords: Soil moisture characteristic curve, Particle size, Soil texture

1- Assistance Professor ,Water Engineering Department, University of Zabol
2- Assistance Professor, Bam University
(*- Corresponding Author Email: mmahdichari@uoz.ac.ir)