# ضعف مدل آریا-پاریس در تخمین منحنی رطوبتی در خاک‌هایی با توزیع دو نمایی اندازه ذرات

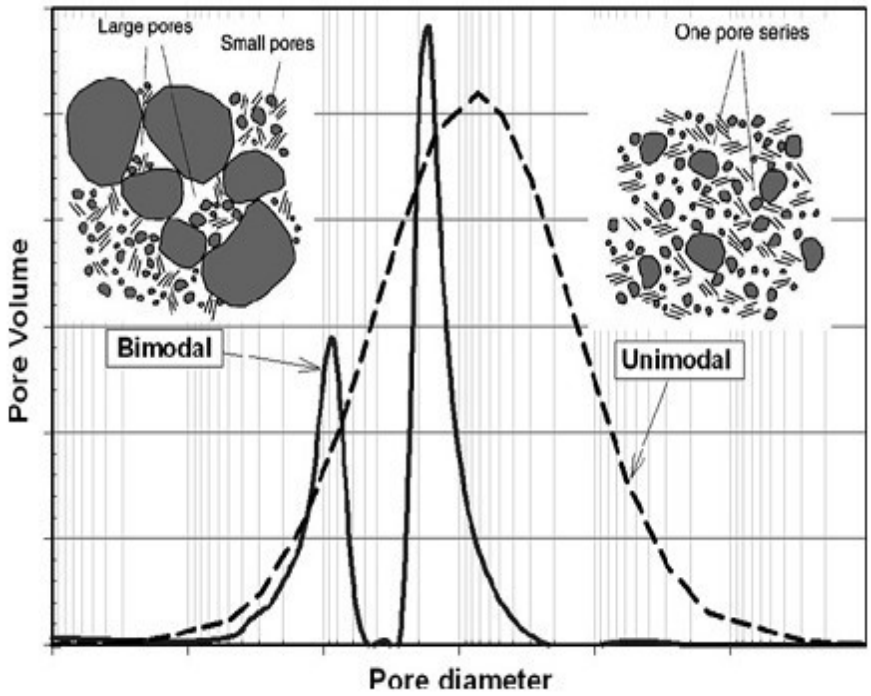
علی عطایی [۱]، محمود سیفی [۱] ، محمدرضا نیشابوری [۳]، معصومه نیکپور [۴]
۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه تبریز ،۲-استاد گروه علوم خاک دانشگاه تبریز ،۳- عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور کرمان

**چکیده**
توزیع جرم ذرات در اندازه‌های مختلف تاثیر اساسی در آرایش منافذ دارد به طوری که پایه شکل‌گیری بسیاری از مدل‌های منحنی رطوبتی می‌باشد. گاهی به دلایلی همانند فرسایش خاک یا هوازدگی بخشی از ذرات خاک حذف می‌شوند که در این حالت، توزیع اندازه ذرات حالت دونمایی پیدا می‌کند. در این شرایط مدل‌های توسعه یافته برای شرایط تک نمایی، کارایی خود را از دست می‌دهند. برای بررسی جزئی‌تر، ۴۰ نمونه خاک از داده‌های پایگاه داده‌ای UNSODA که دارای اطلاعات مربوط به منحنی رطوبتی و توزیع اندازه ذرات بودند، انتخاب و منحنی رطوبتی با استفاده از مدل آریا و همکاران برآورد گردید. دقت برآورد با استفاده از آماره‌های صحت سنجی ارزیابی شد. نتایج نشان داد در نواحی دونمایی مثلث بافت خاک، منحنی رطوبتی برآورد شده از صحت کمی برخوردار است و حالت دونمای توزیع اندازه ذرات می‌تواند یکی از علت‌های اصلی کاهش دقت مدل مذکور باشد.

واژگان کلیدی: آماره‌های صحت سنجی، توزیع دو نمایی، کلاس بافتی، مدل آریا پاریس، منحنی رطوبتی

**مقدمه**
توزیع اندازه ذرات[۵۲] (PSD) یک ویژگی مهم و پایدار از خاک است که بسیاری از رفتارهای و پاسخ‌های خاک چه از جنبه زراعی و چه از جنبه مکانیکی با آن ارزیابی و توصیف می‌شود. این صفت برای رده‌بندی و تخمین ویژگی‌های خاک همانند منحنی رطوبتی و هدایت حرارتی (ونگنوختن و همکاران،۱۹۹۹؛ ووستن و همکاران، ۲۰۰۱) مورد استفاده قرار گرفته است. اگر خاکی دارای ذرات در تمام بخش‌های اندازه‌ای باشد، از نظر دانه‌بندی غنی می‌باشد. در مقابل در خاک‌های با دانه‌بندی گسسته[۵۳] یک بخش اندازه‌ای از ذرات در آن وجود ندارند. خاک با دانه‌بندی کامل و خاک با دانه‌بندی گسسته می‌توانند توزیع اندازه منافذ و ساختمان متفاوتی داشته باشند. در خاک با دانه‌بندی غنی منحنی توزیع تجمعی اندازه منافذ و منحنی توزیع اندازه منافذ هر دو تک نمایی[۵۴] بوده و تنها یک سری از منافذ (منافذ درشت یا ریز) در خاک حضور دارند. در مورد خاک با دانه‌بندی گسسته منحنی توزیع تجمعی اندازه منافذ و منحنی توزیع اندازه منافذ هر دو دونمایی[۵۵] هستند (زانگ و چن، ۲۰۰۵). زانگ و چن (۲۰۰۵) مشاهده کردند که در خاک‌های با تخلخل دوگانه[۵۶] منافذ به وسیله دو سری ذرات درشت و ذرات کوچک کنترل می‌شود. ذرات ریز نمی‌توانند به طور کامل منافذ ایجاد شده توسط ذرات درشت را پر کنند به همین خاطر تخلخل دوگانه در خاک ایجاد می‌شود (شکل ۱). تعداد زیادی از خاک‌های رسوبی[۵۷] و رسوبات واریزه‌ای[۵۸]، توزیع اندازه ذرات دو نمایی از خود نشان می‌دهند (زانگ و چن، ۲۰۰۵).

[۵۲]Particle Size Distribution
[۵۳]Gap-graded soil
[۵۴]Unimodal
[۵۵] Bimodal
[۵۶] Dual-prosity
[۵۷] Residual
[۵۸] Colluvial

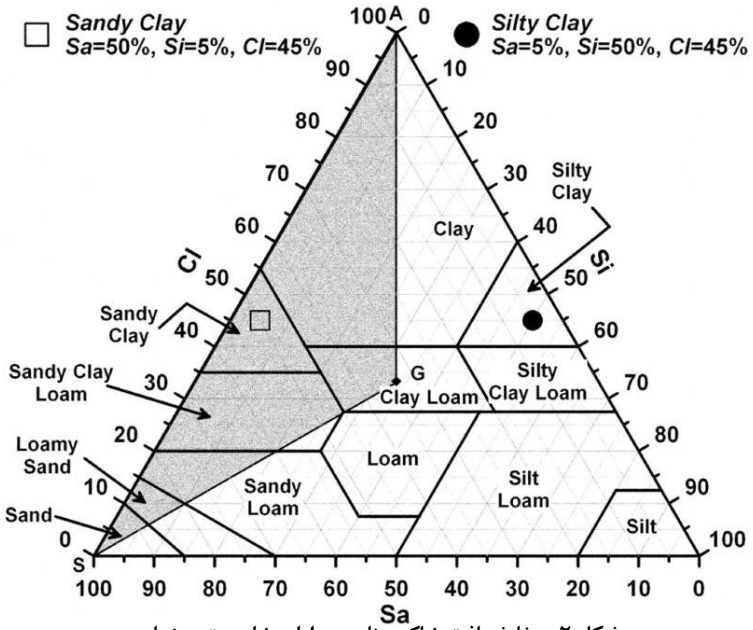



**شکل ۱ - ساختمان و توزیع اندازه منافذ خاک‌های با ویژگی‌های تک‌نمایی و دونمایی**

طبق نظر دکانداپا و همکاران (۲۰۰۸) اگر خاکی دارای شرایط زیر باشد جزو خاک‌های دونمایی قرار می‌گیرد:

$$\begin{cases} Sand \geq Silt \\ and \\ Clay \geq Silt \end{cases}$$

ناحیه‌ای از مثلث بافتی که دارای این شرایط است، در شکل ۲ به صورت هاشور خورده نشان داده شده است. اگر خاک دونمایی را خاکی تعریف کنیم که در آن درصد سیلت به طور سیستماتیک کمتر از درصد شن و رس باشد، مثلث بافت خاک به دو ناحیه مجزا از هم تفکیک می‌گردد؛ ناحیه با شرایط دونمایی و ناحیه با شرایط تک نمایی (دکانداپا و همکاران، ۲۰۰۸).




**شکل ۲ - مثلث بافت خاک و ناحیه دارای خاصیت دونمایی**

نتایج تحقیقات مختلف ثابت کرده است که برخی از خاک‌ها با ویژگی دو نمایی منجر به منحنی رطوبتی تک نمایی و برخی دیگر منجر به منحنی رطوبتی دو نمایی می‌شوند (فرلاند و همکاران، ۲۰۰۲؛ هاونگ و پاور، ۲۰۰۳؛ سَتیانگا و همکاران، ۲۰۱۳). در مقابل منحنی رطوبتی دونمایی معمولا مرتبط با توزیع اندازه ذرات دو نمایی است. مدل‌های منحنی رطوبتی توسعه یافته برای خاک‌های با شرایط تک نمایی در خاک‌های با شرایط دو نمایی کارایی خود را از دست می‌دهند (فرلاند و همکاران، ۱۹۹۸؛ ژانگ و چن، ۲۰۰۵).

با توجه اهمیت منحنی مشخصه رطوبتی خاک و پرهزینه و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری مستقیم آن در آزمایشگاه تا کنون روش‌های مختلفی برای برآورد آن ابداع شده است. یکی از پرطرفدارترین مدل‌های توسعه یافته در این زمینه، مدل آریا- پاریس (۱۹۸۱) و نسخه اصلاح شده آن آریا و همکاران (۱۹۹۹) می‌باشد. اساس مدل مذکور شباهت شکلی نزدیک بین منحنی توزیع اندازه ذرات و منحنی رطوبتی خاک می‌باشد. در این مدل اندازه منافذ که مرتبط با حجم منافذ است از مقیاس‌گذاری طول منافذ تعیین می‌گردد. طول مجاری به دست آمده برمبنای ذرات کروی به طول منافذ واقعی با استفاده از پارامتر مقیاسی تبدیل می‌شود (محمدی و مسکینی ۲۰۱۳). با توجه به موارد ذکر شده، این پژوهش با هدف بررسی کارایی مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹) در کلاس‌های بافتی مختلف و مخصوصا در نواحی دونمایی مثلث بافت خاک انجام گردید.

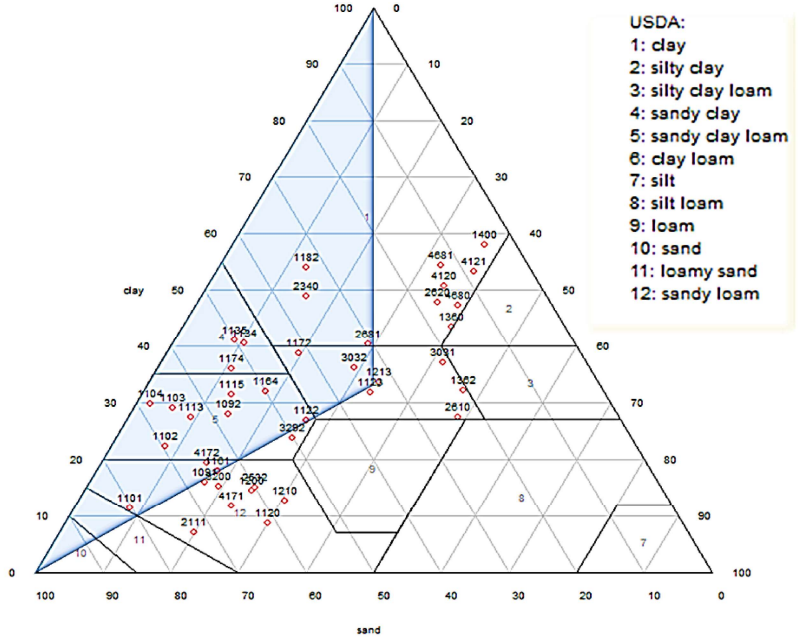
## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی میزان صحت مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹) در کلاس‌های بافتی با شرایط دونمایی، از پایگاه داده‌ای UNSODA تعداد ۴۰ نمونه خاک که دارای اطلاعات مربوط به توزیع اندازه ذرات و همچنین منحنی رطوبتی، در کلاس‌های بافتی با خاصیت دونمایی بودند، انتخاب گردید. برای فاکتور مقیاس بندی (ضریب ) در هر کلاس بافتی از یک مقدار ثابت استفاده شد. مقدار در کلاس‌های بافتی شنی، لوم شنی، لوم، لوم سیلتی و رس به ترتیب برابر ۲۸۵/۱، ۴۵۹/۱، ۳۷۵/۱، ۱۵/۱ و ۱۶/۱ و در سایر کلاس‌های بافتی برابر ۳۸/۱ در نظر گرفته شد (آریا و همکاران، ۱۹۹۹). پس از برآورد منحنی رطوبتی، برای ارزیابی دقت مدل‌ها ۴ آماره صحت سنجی ضریب تبیین (R۲)، NSE[۵۹]، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (ME) محاسبه گردید. آماره‌های گوناگون بر خطاهای رفتاری متفاوت تأکید دارند که کارایی مدل را از جوانب مختلفی بررسی می‌کنند. مقادیر NSE در دامنه ۱ تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند و مقادیر کمتر از یک نشان می‌دهد که مقادیر متوسط داده‌های مشاهداتی می‌تواند پیش‌بینی کننده بهتری نسبت به مدل باشد. در مقابل RMSE جذر میانگین مربع تفاوت مقدار برآورد شده با مقدار اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد (کراوئس و همکاران؛ ۲۰۰۵).

[۵۹] Nash-Sutcliffe efficiency

## نتایج و بحث

از آنجایی که خاک‌ها با توزیع اندازه ذرات متفاوت می‌توانند در یک کلاس بافتی قرار گیرند، پس خاک‌های موجود در یک کلاس بافتی هم می‌تواند شرایط دونمایی بودن را نشان بدهند و هم می‌توانند توزیع تک نمایی داشته باشند. از این رو تنها قسمتی از برخی از کلاس‌های بافتی در محدوده دو نمایی قرار گرفته‌اند. شکل ۲ توزیع نمونه‌های انتخاب شده را در کلاس‌های بافتی مختلف و در محدوده دونمایی نشان می‌دهد. از بین ۴۰ نمونه مورد آزمون، حدود ۲۰ نمونه در محدوده دارای توزیع دونمایی قرار گرفته‌اند.




**شکل ۲- توزیع نمونه‌ها در کلاس‌های بافتی و ناحیه دونمایی مثلث بافت خاک**

در جدول ۱ میانگین آماره‌های صحت سنجی منحنی‌های رطوبتی برآورد شده از طریق مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹) در کلاس‌های بافتی مذکور و در دو قسمت دارای خاصیت دونمایی و تک نمایی آمده است. در کلاس بافتی شنی و شن لومی تقریبا ۵۰% داده‌ها در محدوده دو نمایی قرار دارند، اما در این دو کلاس بافتی تنها کمتر از ۱۵% ذرات در محدوده سیلت و رس قرار دارند و تغییر درصد رس نسبت به سیلت تفاوت چندانی ایجاد نمی‌کند که باعث نمایش واضح حالت دونمایی شود. به عبارت بهتر در این کلاس‌های بافتی چون فراوانی ذرات ریز بسیار کم می‌باشد، لذا تعداد منافذ مرتبط با ذرات ریز هم کم بوده و حالت گسستگی رخ نمی‌دهد. به همین دلیل نتایج مربوط به این دو کلاس بافتی گزارش نشده‌اند.

**جدول ۱ - میانگین آماره‌های صحت سنجی برآورد منحنی رطوبتی در کلاس‌های مختلف بافت خاک مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹)**

| با توزیع دونمایی | | | | | با توزیع تک نمایی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کلاس بافتی | تعداد | R۲ | NSE | RMSE | ME | تعداد | R۲ | NSE | RMSE | RMSE |
| رس | ۲ | ۸۶۸/۰ | ۱۵۴/۵- | ۰۸۹/۰ | ۰۸۵/۰ | ۸ | ۹۶۸/۰ | ۶۳۷/۰ | ۰۳۵/۰ | ۰۲۹/۰ |
| لوم رسی | ۴ | ۸۷۴/۰ | ۵۱/۱- | ۰۴۷/۰ | ۰۳۹/۰ | ۳ | ۹۴۱/۰ | ۷۴۶/۰ | ۰۵۵/۰ | ۰۴۷/۰ |
| لوم رس شنی | ۸ | ۸۵۸/۰ | ۹۴۷/۵- | ۰۸۴/۰ | ۰۷۱/۰ | ۱ | ۸۹۱/۰ | ۲۶۴/۰ | ۰۴۶/۰ | ۰۳۴/۰ |
| لوم شنی | ۳ | ۹۰۷/۰ | ۴۸۷/۰- | ۰۳۶/۰ | ۰۳۱/۰ | ۸ | ۹۱۵/۰ | ۶۹۸/۰ | ۰۳۹/۰ | ۰۳۳/۰ |
| رس شنی | ۳ | ۴۹/۰ | ۸۳۵/۱۴- | ۱۳۶/۰ | ۱۲۸/۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میانگین کل | ۲۰ | ۷۹۹/۰ | ۳۹۲/۵ - | ۰۷۸/۰ | ۰۷۱/۰ | ۲۰ | ۹۲۹/۰ | ۵۸۶/۰ | ۰۴۴/۰ | ۰۳۶/۰ |

مشاهده می‌شود که در تمام کلاس‌های بافتی که دارای هر دو نوع توزیع (تک و دونمایی) هستند، کارایی مدل در قسمت‌های تک نمایی، بسیار بیشتر از قسمت‌های دو نمایی می‌باشد. با توجه به اینکه تعداد نمونه در هر دو قسمت برابر است و در کلاس‌های بافتی یکسانی قرار دارند، مدل مذکور در ناحیه دونمایی مثلث بافت خاک توانایی کمی در برآورد منحنی رطوبتی نشان داده است.

نتایج نشان داد که حالت دونمایی توزیع اندازه ذرات علت اصلی کاهش صحت برآورد مدل مذکور به غیر از اثر ساختمان یا نحوه تعیین پارامتر مقیاس در برخی کلاس‌های بافتی است. البته برای محقق شدن بیشتر این نکته لازم است که تحقیقات بیشتری صورت گیرد. انتظار می‌رود در چنین صورتی می‌توان با دو نمایی اصلاح یا تعدیل مدل آریا-پاریس برای حالت دو نمایی میزان دقت مدل را تا حد قابل توجهی افزایش داد.

## منابع


Arya L.M., Leij F.J., Van Genuchten M.T. and Shouse P.J. ۱۹۹۹. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. Soil Sci. Soc .Am. J, ۶۳: ۵۱۰-۵۱۹.

De Condappa D., Galle S,. Dewandel B. and Haverkamp R. ۲۰۰۸. Bimodal zone of the soil textural triangle: common in tropical and subtropical regions. Soil Science Society of America Journal, ۷۲: ۳۳-۴۰.

Fredlund MD., Wilson GW. and Fredlund DG.. ۲۰۰۲. Use of the grain-size distribution for estimation of the soil-water characteristic curve. Can Geotech J, ۳۹: ۱۱۰۳-۱۷.

Hwang S. and Powers SE.۲۰۰۳. Using particle-size distribution models to estimate soil hydraulic properties. Soil Sci Soc Am J, ۶۷: ۱۱۰۳-۱۲.

Krause P., Boyle D. and B se F. ۲۰۰۵. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences, ۵: ۸۹-۹۷.

Mohammadi, M.H. and Meskini-Vishkaee F. ۲۰۱۳. Predicting Soil Moisture Characteristic Curves from Continuous Particle-Size Distribution Data. Pedosphere, ۲۳: ۷۰-۸۰.

Satyanaga A., Rahardjo H., Leong E.C. and Wang J.Y. ۲۰۱۳. Water characteristic curve of soil with bimodal grain-size distribution. Computers and Geotechnics, ۴۸: ۵۱-۶۱.

vanGenuchten M.T., Leij F.J.and Wu L. ۱۹۹۹. Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. University of California, Riverside, CA.

Zhang L. and Chen Q. ۲۰۰۵. Predicting bimodal soil-water characteristic curves. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ۱۳۱: ۶۶۶-۶۷۰.