بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی

گروه خاکشناسی

گرایش فیزیک و حفاظت خاک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد(M. Sc.)

عنوان:

برآورد منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از حدود پایداری و برخی ویژگی‌های فیزیکی در خاک‌های آهکی

تحقیق و نگارش:

مهسا کاظمی‌پور اسفهلان

استاد راهنما:

دکتر محمدحسین محمدی

استاد مشاور:

دکتر علی‌رضا واعظی

زمستان ۱۳۹۰

دانشگاه زنجان

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

شماره: ۵۴۹۸۰

تاریخ: ۹۱/۱۲/۱۶

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی‌عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

خانم: **مهسا کاظمی پور اسفهلان** رشته: **خاکشناسی** گرایش: **فیزیک و حفاظت خاک**

تحت عنوان: **برآورد منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از حدود آتربرگ و برخی ویژگی های فیزیکی در خاک های آهکی** در تاریخ **۹۱/۱۲/۱۴** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزارگردید و نظر هیأت داوران بشرح زیر می‌باشد:

قبول(با درجه :.....عالی..... امتیاز: .....۱۹.۷۰.....) دفاع مجدد○ مردود○

۱- عالی(۲۰-۱۹)
۲- بسیارخوب(۱۸/۹۹- ۱۸)
۳- خوب(۱۷/۹۹- ۱۶)
۴- قابل قبول(۱۵/۹۹- ۱۴)
۵- غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر محمد حسین محمدی	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر علی رضا واعظی	استادیار	
۳- استاد ممتحن	دکتر پریسا علمداری	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر جعفر نیکبخت	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات‌تکمیلی	دکتر کامران مروج	استادیار	

دانشگاه زنجان
دکتر محمدحسین شهیر
مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه
مدیریت تحصیلات تکمیلی
استعدادهای درخشان

دکتر علی شمس
معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی

تقدیم به:

نگاه‌های همیشه مهربان و سرشار از عاطفه مادرم؛

قامت همیشه استوار و امید بخش پدرم

و تقدیم به:

همه کسانی که لحظه‌ای بعد انسانی و وجدانی خود را فراموش نمی‌کنند

و بر آستان گران سنگ انسانیت سرفرود می‌آورند

و انسان را با همه تفاوت‌هایش ارج می‌نهند

تقدیر و تشکر

سپاس بیکران پروردگار عالمیان را سزاست که دستانم را توان نوشتن از اوست تا به سرانجام رسانم هر آنچه با نام اوست.

از فرد فرد اعضای خانواده‌ام که آسودن من به قیمت فرسودن آنها تمام شد بلاخص پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگیم حامی من بودند و همچنین یگانه برادر دلسوزم نهایت سپاسگزاری و قدردانی را دارم و امیدوارم که بتوانم با سعی و تلاش بیشتر خود در این راه پاسخگوی ذره‌ای از زحمات آنها باشم.

بی شک آرزوی هر دانشجویی آنست که روزی پاسخگوی لطف اساتیدی باشد که زحمت تعلیم و دانش آموختن به او را متقبل شده‌اند.

سر تعظیم فرود می‌آورم در برابر استاد راهنمای گرامیم جناب آقای دکتر محمد حسین محمدی که در سخت ترین مراحل این تحقیق سخاوتمندانه از هیچ مساعدتی دریغ ننمودند.

از تمامی دوستان و همکلاسی‌های عزیزم بلاخص سرکار خانم مهندس پریسا ملکی و سرکار خانم دکتر فاطمه مسکینی که همچون خواهر دلسوزانه همراهم بودند و مرا در انجام این مهم یاری کردند از صمیم قلب تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده:

منحنی رطوبتی از ویژگی‌های بنیادی خاک است که برای مدل‌سازی جریان آب و انتقال توامان آب و املاح در بخش غیراشباع خاک، آب قابل استفاده گیاه و تغذیه و استخراج آب‌های زیرزمینی کاربرد دارد. بدلیل اینکه اندازه‌گیری مستقیم منحنی رطوبتی خاک وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد، روش‌های غیرمستقیم جهت برآورد آن مورد توجه قرار گرفته است. از مهمترین راه‌کارهای موجود ایجاد یک رابطه تجربی بین تعدادی از خصوصیات زود یافت خاک مانند بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و میزان ماده آلی با خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌باشد. با توجه به اهمیت منحنی رطوبتی و اینکه اندازه‌گیری حدود روانی و خمیری نسبتا ساده است، این تحقیق به منظور بررسی برآورد منحنی رطوبتی خاک با استفاده از حدود آتربرگ و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. در این پژوهش تعداد ۲۸ نمونه خاک از منطقه زنجان به روش نمونه‌برداری کاملا تصادفی از دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری برداشت شد. منحنی رطوبتی خاک‌ها، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حدود آتربرگ خاک‌ها به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. رطوبت خاک‌ها در مکش‌های مختلف به عنوان متغیر وابسته و سایر خصوصیات خاک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد(توابع تبدیلی نقطه‌ای) و پس از نرمال کردن داده‌ها و بررسی میزان همبستگی جزیی، به روش گام به گام توسط رگرسیون چندگانه مدل‌سازی و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که از بین خصوصیات اندازه‌گیری شده، درصد رس، جرم مخصوص ظاهری، حد روانی و خمیری و در بین متغیرهای ترکیبی حاصل‌ضرب درصد رس در حد روانی بیشترین همبستگی را با مقدار رطوبت دارند. استفاده از حدود آتربرگ(حدود روانی و خمیری) در ایجاد توابع نقطه‌ایی برای برآورد صحیح و آسان منحنی رطوبتی مفید و موثر است بررسی مقادیر رطوبت برآورد شده و اندازه‌گیری شده در کلیه مکش‌ها نشان داد که توابع پیشنهادی جهت برآورد منحنی رطوبتی از دقت مناسبی برخوردار می-باشد(ضریب تبیین ۸۹٪ و RMSE ۰/۱۱). نتایج نشان داد که مقدار دقت توابع نقطه ای توسعه داده شده با افزایش مکش ماتریک خاک تا حدودی افزایش می‌یابد که دلیل احتمالی آن به تغییرپذیری و حساسیت کم مقدار رطوبت در مکش‌های بالاتر می‌باشد. در این مطالعه رابطه معنی‌داری بین پارامترهای مدل‌های منحنی رطوبتی رایج و خصوصیات اولیه خاک مشاهده نگردید که می‌تواند بدلیل تاثیرپذیری بالای مقادیر پارامتر از یکدیگر باشد.

واژگان کلیدی: توابع تبدیلی، منحنی رطوبتی، حدود آتربرگ

فهرست مطالب

عنوان **صفحات**

فصل اول- مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف تحقیق ٤

فصل دوم- بررسی منابع

۲- ۱- اهمیت منحنی رطوبتی خاک ٦

۲-۲- روش‌های غیرمستقیم تعیین منحنی رطوبتی ٦

۲-۲-۱- مدل‌های فیزیکی ٦

۲-۲-۲- مدل‌های نیمه‌فیزیکی ۷

۲-۲-۳- توابع تبدیلی تجربی خاک ۱۰

۲-۳- برخی از مدل‌های منحنی رطوبتی خاک ۱۳

۲-٤- حدود پایداری آتربرگ خاک ۲۱

۲-٤-۱- حد انقباض ۲۱

۲-٤-۲- حد خمیری ۲۲

۲-٤-۳- حد روانی ۲۲

۲-٤-٤- شاخص خمیرایی ۲۲

۲-٤-۵- شاخص روانی ۲۳

۲-٤-٦- فعالیت خاک..... ۲۳

۲-۵- اهمیت و کارآیی حدود آتربرگ..... ۲۳

۲-٦- رابطه ویژگی‌های مکانیکی و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک..... ۲٤

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- موقعیت جغرافیایی نمونه‌های مورد مطالعه..... ۲۹

۳-۲- آماده کردن نمونه‌ها..... ۳۱

۳-۲-۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک..... ۳۲

۳-۲-۲- ویژگی‌های شیمیایی خاک..... ۳٤

۳-۲-۳- ویژگی‌های مکانیکی خاک..... ۳٦

۳-۳- برآورد پارامترهای معادله منحنی رطوبتی..... ۳۸

فصل چهارم: نتایج و بحث

٤- ۱-خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش..... ٤۰

٤- ۲- خصوصیات مکانیکی اندازه‌گیری شده..... ٤۲

٤- ۳- خصوصیات هیدرولیکی خاک..... ٤۳

٤-٤- همبستگی بین ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی..... ٤۵

٤-۵- همبستگی جزئی بین مقادیر رطوبت در مکش‌های مختلف و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی..... ٤۹

٤-٦- توابع تبدیلی نقطه‌ایی بر اساس مدل‌های رگرسیونی..... ۵۲

٤-۷- توابع تبدیلی پارامتریک بر اساس مدل‌های رگرسیونی..... ۵۷

٤-٨- مقایسه منحنی رطوبتی اندازه‌گیری شده با توابع نقطه‌ایی و مدل محمدی-ونکلوستر(۲۰۱۱).....٥٨

٤-٩- نتیجه‌گیری کلی.....٦٤

٤-١٠- پیشنهادها.....٦٦

منابع ٦٨

فهرست جداول

عنوان **صفحات**

جدول ۳-۱- مختصات جغرافیایی نمونه خاک‌های مورد مطالعه..... ۳۰

جدول ٤-۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه..... ٤۱

جدول ٤-۲- برخی خصوصیات مکانیکی ۲۸ خاک مورد مطالعه..... ٤٤

جدول ٤-۳- پارامترهای منحنی رطوبتی(مدل ون‌گنوختن)..... ٤٥

جدول ٤-٤- ماتریس ضرایب همبستگی جزیی بین ویژگی‌های مختلف فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی..... ٤۹

جدول ٤-٥- همبستگی جزیی بین مقدار رطوبت خاک‌ها در مکش‌های مختلف با برخی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک..... ٥۲

جدول٤-٦- توابع تبدیلی نقطه ای برای برآورد مقدار رطوبت خاک در مکش های مختلف. واسنجی شده با استفاده از داده‌های منحنی رطوبتی ۲۸ خاک استان زنجان..... ٥۳

جدول ٤-۷- توابع تبدیلی پارامتریک بر اساس مدل‌های رگرسیونی..... ٥۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحات**

شکل ۱- ۱- منحنی رطوبتی چند نمونه خاک با بافت مختلف.....۳

شکل ۲-۱- نمودار خمیری بر اساس حدود آتربرگ(کاساگرانده، ۱۹۳۲).....۲٤

شکل ۳-۱- نمایی از منطقه مورد مطالعه.....۲۹

شکل ۳-۲- دستگاه صفحات فشاری و غشای فشاری مورد استفاده در آزمایشگاه.....۳۳

شکل ۳-۳- تعیین حد روانی بوسیله دستگاه کاساگرانده.....۳۷

شکل ۳-٤- نمایی کلی از نحوه تعیین حد خمیری خاک.....۳۸

شکل ٤-۱- توزیع اندازه ذرات اولیه خاک را در ۲۸ خاک مورد مطالعه .پراکندگی داده ها بیانگر وجود طیف وسیعی از خاک‌ها با توزیع اندازه ذرات متفاوت می‌باشد.....٤۳

شکل ٤-۲- رابطه بین رطوبت حجمی($cm^3.cm^{-3}$) اندازه‌گیری شده و رطوبت حجمی($cm^3.cm^{-3}$) برآورد شده از توابع نقطه‌ایی در مکش‌های مختلف.....٥٦

شکل ٤-۳- رابطه کلی بین رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از توابع نقطه‌ایی در کلیه مکش‌های مورد مطالعه.....٥۸

شکل ٤-٤- منحنی رطوبتی اندازه‌گیری شده، توابع تقطه ایی و مدل محمدی - ونکلوستر(۲۰۱۱).....٦۰

فصل اول

مقدمه و کلیات

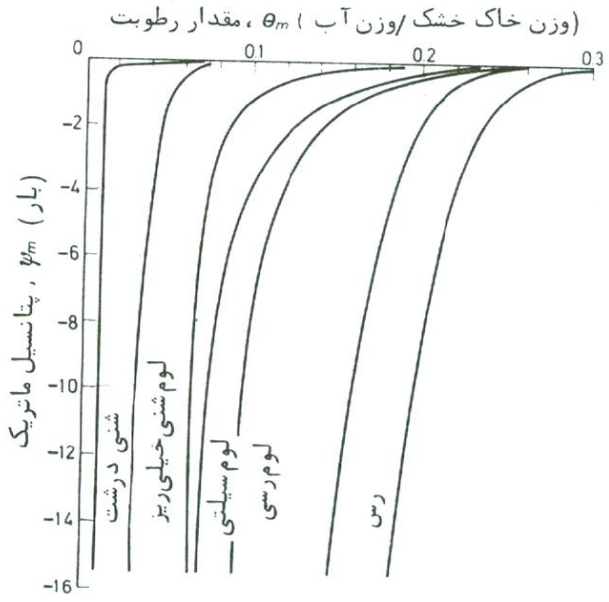
۱-۱- مقدمه

رطوبت و قوانین حاکم بر این که آب چگونه و به چه مقدار در خاک موجود بوده و قابل استفاده گیاه می‌باشد از مهمترین موضوعات در علم رابطه آب وخاک و گیاه است. مقدار آب موجود در واحد جرم یا حجم خاک را رطوبت خاک(Soil moisture) گویند. گیاه آب مورد نیاز خود را از طریق ریشه‌ها از خاک جذب می‌کند. بنابراین موجودیت و مهیایی آب در خاک از عوامل اصلی رشد گیاه است. علاوه بر این بسیاری از خصوصیات خاک مانند پایداری(Consistency) خمیرائی(Plasticity)، مقاومت(Strength)، قابلیت فشرده شدن(Campactivity)، نفوذپذیری(Penetrability) و قابلیت تردد(Trafficability)روی خاک بستگی به مقدار رطوبت خاک دارد. رطوبت خاک بر مقدار هوای موجود در خاک و تبادل گازها در آن نیز موثر است. فعالیت موجودات ریز خاک و واکنش‌های شیمیایی خاک نیز تابعی از مقدار رطوبت آن است(علیزاده، ۱۳۸٤).

- ✓ منحنی رطوبتی خاک[۱](SWRC)

منحنی مشخصه رطوبتی خاک، رابطه بین پتانسیل ماتریک و درصد رطوبت خاک می باشد. در مکش-های پایین، تغییرات جزئی در مقدار رطوبت با تغییرات کم پتانسیل ماتریک همراه است. در صورتی‌که در مکش‌های بالا تغییرات جزئی در مقدار رطوبت تغییرات زیادی را در پتانسیل ماتریک سبب می‌شود. تغییرات خطی مقدار رطوبت با زمان موجب تغییرات غیرخطی پتانسیل ماتریک می‌شود. شکل۱-۱ منحنی رطوبتی را برای چند نوع خاک نشان می‌دهد(محبوبی و نادری، ۱۳۸۷).

[۱] Soil water retention curves



شکل ۱- ۱- منحنی رطوبتی چند نمونه خاک با بافت مختلف(محبوبی و نادری، ۱۳۸۷)

✓ تعیین منحنی رطوبتی

منحنی رطوبتی خاک، به روش‌های مستقیم و غیرمستقیم برآورد می‌شود. روش‌های مستقیم اغلب وقت‌گیر و پرهزینه بوده و نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی گران‌قیمت مانند دستگاه‌های صفحات فشاری، ستون آب آویزان و یا جعبه شن دارد. از طرفی برآورد منحنی رطوبتی با روش مستقیم روی نمونه‌های کوچک و دست خورده که کمتر قابل تعمیم به مزرعه می‌باشد اجرا می‌شود(عباسی،۱۳۸٦). همچنین استفاده از جدول داده‌های رطوبتی به صورت منفرد و گسسته در مدل‌های کامپیوتری مشکل می-باشد(بایبوردی،۱۳۷۲). به همین دلیل در سال‌های اخیر روش‌های غیرمستقیم مورد توجه بیشتر پژوهشگران قرار گرفته است(Aria and Paris, 1981; Vereecken et al., 1989; Tomasella et al., 2003; Huang et al., 2006). توابع تبدیلی[۱] (PTFs) یکی از روش‌های غیرمستقیم در اندازه‌گیری ویژگی-

[۱] Pedotransfer function

های پایه‌ای[1] خاک را به سایر ویژگی‌های خاک ارتباط می‌دهند(میرخانی و همکاران، ۱۳۸٦). اکثر توابع تبدیلی برای تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک، از خصوصیات زود یافتی چون بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و یا میزان ماده آلی استفاده می‌کنند(Haverkamp et al., 2005; Rawls and Pachepsky, 2002).

از طرفی حدود پایداری آتربرگ[2](حدروانی، حدخمیری و شاخص‌خمیری) از ویژگی‌های مهم مکانیکی خاک هستند که در تعیین رطوبت مناسب جهت خاک‌ورزی برای عملیات کشاورزی بکار می‌روند و همبستگی بالایی با، هدایت هیدرولیکی، نفوذ پذیری، تورم پذیری و مقاومت برشی خاک دارند(Carter, 1993).

۱-۲- اهداف تحقیق

اکثر توابع تبدیلی به بررسی برآورد منحنی رطوبتی خاک با استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پرداخته‌اند و خصوصیات مکانیکی(حدود آتربرگ) خاک کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. با توجه به اهمیت منحنی رطوبتی و نیز همبستگی خصوصیات مکانیکی با ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و اینکه تعیین حدود روانی و خمیری آزمایشات نسبتا ساده‌ای هستند هدف از این تحقیق بررسی اثرات حدود آتربرگ و برخی خصوصیات فیزیکی بر منحنی رطوبتی در خاک‌های آهکی می‌باشد.

[1] Soil basic properties
[2] Atterberg Limits

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- اهمیت منحنی رطوبتی خاک

رابطه بین نیروی مکش(نیروی ماتریک) و رطوبت خاک به منحنی رطوبتی موسوم است. این منحنی در آبیاری و زهکشی بسیار مهم است، زیرا تاثیر ساختمان خاک، تخلخل، توزیع اندازه خلل‌وفرج و جذب سطحی را بر حالت آب در خاک بیان می‌کند. حالت آب در خاک و تغییرات آن در پروفیل خاک، تعیین کننده جهت حرکت آب در خاک است و در میزان حرکت آب در خاک و جذب آن بوسیله گیاه موثر است(عالمی، ۱۳٦۰). از این منحنی در پیش‌بینی خواص هیدرولیکی خاک و مسائل مربوط به حرکت آب در خاک چه در حالت اشباع و چه در حالت غیراشباع استفاده فراوانی می‌شود. همچنین از روی این منحنی می‌توان به چگونگی نگهداری آب در خاک پی برده و مقدار آب قابل ذخیره در خاک را در هر پتانسیل بدست آورد(Desbarats, 1995). منحنی رطوبتی از ویژگی‌های بنیادی خاک است که تشریح کمی آن برای مدل‌سازی جریان آب و انتقال توامان آب و املاح در بخش غیراشباع خاک بسیار مهم است(علیزاده، ۱۳۸٤).

۲-۲- روش‌های غیرمستقیم تعیین منحنی رطوبتی

به طور کلی، روش‌های غیرمستقیم تعیین منحنی رطوبتی خاک به سه دسته مدل‌های فیزیکی، مدل‌های نیمه فیزیکی و توابع تبدیلی تجربی طبقه‌بندی می‌شوند(Schaap, 2005):

۲-۲-۱- مدل‌های فیزیکی[۱]

در این نوع توابع، منحنی رطوبتی از خواص فیزیکی خاک مشتق می‌شود. مدل‌های فیزیکی اغلب به مدل‌های نیمه فیزیکی منسوب می‌شوند. رائولز و همکاران[۲](۱۹۸۲) و ویلیامز و همکاران[۳](۱۹۹۲) داده‌های

[۱] Physical models
[۲] Rawls et al
[۳] Williams et al

رطوبتی خاک را بر اساس خصوصیات فیزیکی بدست آوردند. پاچپسکی و همکاران[۱](۱۹۹۶) با اندازه‌گیری بافت خاک و جرم مخصوص ظاهری هشت نقطه منحنی رطوبتی را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی(Artificial Neural Network) و رگرسیون پیشنهاد کردند.

- مدل رائولز و همکاران(۱۹۸۲)

رائولز و همکاران(۱۹۸۲) سه معادله رگرسیون خطی(Liner regreesion) برای شبیه سازی داده‌های رطوبتی بکار بردند که ساده‌ترین آنها عبارتست از:

(۲-۱)

$$\Theta_p = a + b(\%Sand) + c(\%Silt) + d(\%Clay) + e(\%Organic\ matter) + f(Bulk\ density,\ mg/m^3)$$

که در آن a، b، c، d، e و f ضرایب رگرسیون می‌باشند و بافت خاک با سیستم USDA توصیف می‌گردد. ضرایب معادله فوق برای پتانسیل‌های انتخابی از ۱۰ الی ۱۵۰۰ کیلو پاسکال توسط رائولز و همکاران(۱۹۸۲) گزارش شده‌اند. در این گزارش، تعدادی از ضرایب صفر می‌باشند که نشان‌دهنده تاثیر بسیار جزئی آنهاست. بطور مثال، در ۱۰ کیلو پاسکال و بالاتر، جرم مخصوص ظاهری بر روی درصد رطوبت تاثیری ندارد. همچنین این معادلات حساسیت کمتری نسبت به مواد آلی دارند.

۲-۲-۲- مدل‌های نیمه فیزیکی[۲]

این مدل تلفیقی از فرضیات فیزیکی و روابط تجربی است. بلومن[۳](۱۹۸۰)، آریا و پاریس(۱۹۸۱) با بکارگیری توزیع اندازه ذرات، جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی خاک، مدل‌هایی جهت برآورد رطوبت ارائه کردند. این نوع مدل‌ها توزیع اندازه ذرات خاک را به توزیع خلل و فرج و توزیع خلل

---

۱ Pachepsky
۲ Semiphysical models
۳ Bloemen

و فرج را به پتانسیل ماتریک(Matric potential) تبدیل می‌کنند و به این ترتیب امکان رسم منحنی رطوبتی از داده‌های فیزیکی خاک فراهم می‌شود(Wosten et al., 2001).

- مدل آریا و پاریس(۱۹۸۱)

آریا و پاریس(۱۹۸۱) با مشاهده‌ی تشابه بین منحنی رطوبتی و منحنی توزیع اندازه ذرات به این فکر افتادند که منحنی توزیع اندازه ذرات را به منحنی رطوبتی تبدیل یا ترجمه کنند. به‌دلیل اینکه منحنی رطوبتی در حقیقت توزیع اندازه‌ی منافذ خاک است. در این مدل، اندازه منافذ خاک، که به شکل لوله‌های مویین فرض شده است، از طریق مقیاس‌بندی طول خلل‌و فرج تعیین می‌شود. چون اندازه ذرات غیرکروی معمولا بر حسب قطر معادل ذرات کروی با حجم و وزن یکسان بیان می‌شود، طول خلل‌وفرج در هر بخش از منحنی توزیع اندازه ذرات خاک از مجموع قطر ذرات کروی تخمین زده می‌شود. سپس طول خلل‌و فرج محاسبه شده برای ذرات کروی از طریق پارامتر تجربی به خاک طبیعی تعمیم داده می‌شود.این مدل از اطلاعات توزیع اندازه ذرات به منظور تخمین منحنی رطوبتی استفاده نموده و در آن فرض شده که هر کلاس اندازه ذرات شامل تعداد n_k ذرات کروی با شعاع متوسط R_k می‌باشد. در این مدل فرض شده که جرم مخصوص ظاهری برای هر یک از کلاس‌های اندازه ذرات یکسان بوده و حجم منافذ V_k در ارتباط با یک سیلندر استوانه ای شکل با شعاع r_k بوده و از معادله ۲-۲ به دست می‌آید:

$$V_k = \left(\frac{W_k}{\rho_s}\right) e \qquad (۲-۲)$$

W_k جرم کلی کلاس ذرات k، ρ_s جرم مخصوص حقیقی، e نسبت پوکی، V_k حجم منافذ می‌باشد.

شعاع منافذ متعلق به کلاس k با استفاده از معادله ۲-۳ تعیین می‌شود:(آریا و پاریس،۱۹۸۱).

$$r_k = \frac{R_k \sqrt{2en_k^{(1-\alpha_{ap})}}}{3} \qquad (۲-۳)$$

α_{ap} پارامتر تجربی که عموما در محدوده‌ای بین ۱/۳۵ تا ۱/٤۰ قرار دارد. مطالعات بعدی آریا و پاریس(۱۹۸۲) نشان داد که پارامتر تجربی از ۱/۱ برای خاک‌های ریزبافت تا ۲/۵ برای خاک‌های درشت-بافت تغییر می‌کند. نتایج مشابهی را نیز تایلر و ویتکرافت[۱](۱۹۸۹) گزارش کرده‌اند. در حالی که شائو و همکاران[۲](۱۹۸۸) پس از بررسی تغییرات پارامتر تجربی α_{ap} روی خاک‌هایی با بافت متفاوت نتیجه گرفتند که این پارامتر از کمتر از ۰/۹۵ برای خاک‌های سیلتی لوم تا ۱/۳ برای خاک‌های لوم متغیر است. پژوهشگران زیادی همچون هاورکمپ و پارلانژ[۳](۱۹۸٦) روش آریا و پاریس (۱۹۸۱) را ارزیابی و نشان داد ه‌اند که این روش منحنی رطوبتی خاک‌های شنی را به خوبی برآورد می‌کند اما برای خاک‌های با بافت لومی و رسی دقت کافی ندارد(Wosten et al., 2001)

- روش‌های فراکتالی[٤]

روش‌های فراکتالی یک رابطه توانی و وابسته به مقیاس را بین کمیت اندازه‌گیری شده و مقیاس اندازه-گیری (R) نشان می‌دهند. رفتار فراکتالی توزیع اندازه ذرات را(بر پایه تعداد ذرات) می‌توان به صورت رابطه ۲-٤ بیان کرد:(Tyler and Wheatcraft, 1989).

$$N \sim R^{-D_N} \qquad (٤-٢)$$

N تعداد ذرات بزرگتر از R، D_N بعد فراکتالی(در محدوده بین صفر تا ۳) می‌باشد.

اگر logN در مقابل logR رسم شود، توزیع فراکتالی اندازه ذرات به صورت یک خط مستقیم خواهد بود(Schaap, 2005). تایلر و وایتکرافت(۱۹۸۹) بیان کردند که پارامتر α_{ap} در مدل آریا و پاریس(۱۹۸۱)

---

۱ Tyler and Wheatcraft
۲ Schuh et al
۳ Haverkamp and Parlange
۴ Fractal approaches