تعیین و مطالعه‌ی مسامات خاک با استفاده از قانون ریچارد

پوهنوال شکیب شمال[۱]، پوهندوی حفیظ‌الله رسولی[۲]

[۱،۲]دیپارتمنت جیولوژی، پوهنځی زمین‌شناسی، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان

ایمیل: hafizullah.rasouli133@gmail.com

چکیده

تعیین مسامات خاک یک بخش مهم خاکشناسی در جیولوجی بوده و نقش مهم برای دریافت خصوصیات آب‌های زیرزمینی دارد. در مجموع مسامات خاک در لیتولوجی احجار راسبه و ترسبات متنوع با سایز ذرات ارتباط مستقیم دارد. یعنی به هر اندازه که سایز ذرات بزرگ گردد، در مقابل مسامات نیز بزرگ‌تر می‌گردد، اما در مقابل تعداد مسامات کاهش می‌یابد. در حالی‌که به هر اندازه که ذرات کوچک‌تر می‌شوند، در مقابل تعداد مسامات بیشتر گردیده و سایز آن کوچک‌تر می‌گردد. هم‌چنان به هر پیمانه که سایز ذرات بزرگ‌تر و متجانس باشد، قابلیت نفوذپذیری آن‌ها بیشتر می‌گردد. ولی به هر پیمانه که سایز ذرات کوچک‌تر و غیر متجانس باشد، در مقابل قابلیت نفوذپذیری کم‌تر می‌شود. این تحقیق برای تعیین نفوذپذیری خاک در بخش های جیولوجی، انجنیری و زراعت قابل استفاده می‌باشد.

اصطلاحات کلیدی: ظرفیت نفوذ؛ آب خاک؛ مسامات؛ سایز ذرات؛ حالت اشباع؛ قانون ریچارد

Determination and Study of Soil by Using Richard Law

Associate Prof. Shekeb Shamal[1], Asstt. Prof. Hafizullah Rasouli[2]

[1,2]Department of Geology, Faculty of Geoscience, Kabul University, Kabul, Afghanistan

Email: hafizullah.rasouli133@gmail.com

Abstract

The determination of soil pores is one of the important parts of soil in the field of geology that has very important role in the groundwater. Generally, the soil porosity is directly related to the size of particles. If the size of particles is bigger, the size of pores also became bigger, but the number of porosities reduces. Whether the size of particles smaller the number of porosity are more and the permeability are smaller. But when the particles smaller and non-homogeny the permeability of soil are smaller. This research is used for geology, engineering and agriculture.

Keywords: Permeability Capacity; Soil Water; Pores; Particle Size; Saturation; Richard Law

مقدمه

ریچارد (Richard) یکی از علمای خاک‌شناسی بود که در سال ۱۹۲۱م در کشور امریکا تولد شده و کتاب‌های زیادی را در باره‌ی خاک‌شناسی تألیف نموده است. دانشمند مذکور یک آله‌ی دیگ‌مانند را که بنام آله‌ی فشار ریچارد (Richard pressure pot) یاد می‌گردد، در سال ۱۹۴۵ اختراع کردند (شکل ۱). این آله به کتگوری‌های متنوع تقسیم گردیده است که نمونه‌های آورده‌شده از ساحه در بین آن قرار داده شده و در قدم نخست توسط فشار، آبی‌که به‌صورت طبیعی در بین مسامات نمونه موجود است از آن خارج می‌گردد و سپس نمونه‌ها در داش برقی برای ۲۴ ساعت قرار داده شده و به حرارت ۱۰۵ درجه سانتی گرید کاملاً خشک می‌گردد. بعداً نمونه‌ها وزن گردیده و دوباره در ظرف جداگانه مشبوع گردیده وزن می‌شوند و ذریعه فشار آب از مسامات نمونه مجدداً خارج ساخته می‌شود (۱۰). نمونه‌برداری باید از حالت غیرمختل طبقات صورت گیرد. نمونه‌گیری طوری صورت می‌گیرد که در ابتدا خاک‌های سطحی به اندازه ۵ سانتی متر دور گردیده و به تعقیب آن از طبقات اصلی و دست‌ناخورده توسط استوانه‌های فلزی به اندازه ۱۰۰ سانتی مترمکعب از هر افق خاک نمونه‌گیری می‌گردد. طرز کار با این آله طوری است که بازهم آب از مسامات نمونه‌ها توسط فشار خارج ساخته شده و مقدار آن تعیین می‌گردد (۱). متعاقباً یک جالی در بستر ظرف اشباع‌کننده نمونه‌ها هموار می‌گردد تا از چسپیدن نمونه‌ها باهم‌دیگر جلوگیری گردد. سپس به اندازه ۵ سانتی متر آب در ظرف اشباع ریخته می‌شود تا نمونه‌ها به‌شکل درست مشبوع از آب گردد. بعداً استوانه‌ی متذکره به‌صورت معکوس جابجا گردیده و هر دو طرف استوانه‌ها ($100cm^3$) باز می‌شوند و تا زمانی استوانه‌ها در بین ظرف اشباع باقی می‌مانند که تمام مسامات آن‌ها از آب مملو گردیده و مقدار اعظمی آب در بین مسامات جابجا شود (۲). بعداً در دیگ بزرگ‌تر به واحد پاسکال فشار داده می‌شوند تا از مسامات نمونه‌های متذکره‌ی آب به‌صورت کامل خارج گردد. بعداً آبی‌که در بین مسامات کوچک‌تر باقی می‌ماند، ذریعه فشار بیشتر با استفاده از دیگ کوچک‌تر آله خارج ساخته می‌شود. به این طریق می‌توان مقدار اعظمی و حالت طبیعی آب در بین مسامات را دریافت کرد (۴). طرز جابجا شدن نمونه‌ها طوری است که آن‌ها را از طرف چپ به راست ترتیب می‌نمایم و نمونه‌ها آب‌را از جهت تحتانی جذب نموده و به این طریق تمام مسامات آن‌ها مشبوع از آب می‌گردد. در این‌حالت نمونه تا زمانی در آب باقی می‌ماند که در قسمت فوقانی نمونه‌ها یک غشای جلادار تشکیل شود که غشای متذکره به وسیله‌ی انگشت دست قابل لمس و تشخیص می‌باشد (۵). پس از آن نمونه‌های مشبوع شده از آب وزن گردیده و به ملاحظه می‌رسد که نمونه‌های متذکره به کدام

فیصدی آب را جذب نموده اند. به‌صورت عموم جذب آب در نمونه‌ها ذریعه‌ی دو نوع قوه‌ها صورت می‌گیرد، یکی قوه کیپلاری و دیگر قوه ادهیژن. در مجموع این عملیه پنج مرتبه تکرار می‌شود تا تحقیق به‌شکل دقیق آن انجام گردد (٦). در هر مرتبه نمونه‌ها برای ۲۴ ساعت در داش با حرارت ۱۰۵ درجه سانتی گرید خشک می‌شوند و توسط ترازوی برقی هر استوانه وزن می‌گردد تا پس از خشک شدن وزن آن دریافت شود. وقتی‌که نمونه مشبوع می‌گردد، باید بالای تکه یا دست‌مال کاغذی جابجا گردد تا از چسپیدن با سطح که نمونه‌ها بالای آن گذاشته می‌شود جلوگیری به عمل آید.

شکل۱: دستگاه ریچارچ مورد استفاده برای تعیین اندازه‌ی مسامات و مقدار آب در بین مسامات موجود (۳)

این دستگاه‌ها در مقابل فشار بالا مقاومت بیشتر دارند، چون در ساختمان داخلی آن از دوکاشی مختلف استفاده شده است و هردو کاشی آن در مقابل فشار ۵ بار مقاومت داشته و در صورتی‌که فشار از ۵ بار تجاوز نماید، کاشی متذکره شکسته می‌شود.

طور عموم در خاک‌شناسی چهار نوع مسامات وجود دارند که سایزهای آن از ۵۰ ملی مایکرون الی ۷۵۰ ملی متر می‌باشد و مسامات بزرگ تا ۱۰ ملی متر، مسامات متوسط آن معمولاً از ۰,۲ الی ۱۰ ملی متر و مسامات کوچک آن معمولاً کوچک‌تر از ۰,۲ ملی متر می‌باشد. زمانی‌که دستگاه عیار می‌گردد، هر بخش آن مطابق مسامات عمل می‌نماید و آب را از مسامات مربوطه خارج می‌نمایند (۸).

در مجموع بالای مسامات بزرگ‌تر فشار به اندازه ۰,۰٦ اتموسفیر و یا فشار به اندازه ٦۰ سانتی متر ستون آب بالای یک سانتی متر مربع عمل می‌کند. اگر لوگاریتم آن ٦۰ گرفته شود، در این صورت Pf =1.8 فشار خالص (free pressure) حاصل می‌گردد. هم‌چنان برای مسامات بزرگ به اندازه ۳۳۰

سانتی متر ستون آب‌که معادل به لوگاریتم (PF = 2.5) یعنی Log 330 = 2.5 به دست میاید. برای مسامات کوچک‌تر ۱۵۰۰ اتموسفیر فشار ضرورت است که معادل به لوگاریتم ۴,۲ است. هم‌چنان برای مسامات کوچک ۱۵ بار فشار نیاز است که لوگاریتم آن ۴,۲ بوده و این آله در قسمت تحتانی خود دارای تخته پورسیلین (porcelain flat) می‌باشد که در مقابل ۱۵ بار فشار مقاومت دارد.

نمونه‌های گرفته شده از ساحه پوهنتون کابل با استفاده از این دستگاه تجزیه گردیده است که نتایج آن قرار ذیل می‌باشد: اگر وزن اولی نمونه در حالت مشبوع ۳۰۰گرام باشد و آب از داخل مسامات نمونه به اندازه ۲۸۰ گرام خارج ساخته شود، می‌توانیم آن‌را توسط فورمول ذیل محاسبه نمایم:

$$100 = \frac{200}{28} = 7.2\% \frac{300 \times 280}{280} \times$$

یعنی این نمونه بعد از متقبل شدن ۰,۰۶ بار فشار که وزن گردید به اندازه ۷,۲% آب را جذب نموده است. اگر بخواهیم کثافت حجمی آن‌را دریافت نماییم، در این صورت وزن نمونه‌ی دوم، یعنی ۲۸۰ گرام را به حجم استوانه یعنی ۱۰۰ سانتی متر مکعب قرار ذیل تقسیم می‌نمایم:

$$\text{Bulk density} = \frac{280}{100} = 208$$

درصورتی‌که بخواهیم فیصدی حجم مسامات را دیافت نماییم، در این صورت می‌نویسیم:

حجم مسامات =16,20=2,8 × 7,2

چون عدد فوق‌الذکر بسیار بزرگ بوده و نمایندگی از زمین بسیار مستحکم می‌کند، بناءً، نفوذپذیری آب کم‌تر بوده و به این ترتیب در مورد استحکامیت زمین نیز معلومات به دست می‌آید. در صورتی‌که استحکامیت زمین از آن نمونه‌گیری صورت گرفته است، بلند و نفوذپذیری آب کم‌تر باشد، عدد فوق‌الذکر از ۱,۵ بلند نمی‌رود. یعنی وقتی‌که عدد از آن بلند شوند، برای زراعت مناسب نیست. برای جابجا شدن نمونه از سه طبقه تخته پورسلین جابجا می‌گردد، در این‌جا نمونه از پایین به طرف بالا شروع می‌گردد. هم‌چنین پورسلین باید به کمک سه کلک گرفته شود، در اخیر باید دیگ ذریعه جالی یا پیچ بسته شود و دوشاخه آن باید به طرف بالا درست مستحکم شود. برای هوا دادن به دیگ‌های مربوطه از دو نوع جنراتور استفاده می‌گردد: یکی از آن برای ۴ اتموسفیر و دیگر آن برای ۲۰ اتموسفیر ساخته شده است. در این‌جا در قسمت سر آن تکمه وجود دارند، بالای آن فشار وارد می‌گردد و باید این عملیه برای ۲۴ ساعت اجرا شوند. این کار به‌خاطر اجرا می‌گردد تا از روی کشیدن هوا سایز مسامات آن معلوم گردد و هر دیگ آن برای فشار متنوع ساخته شده است. یعنی مطابق

فشار اندازه مسامات معلوم می‌گردد. یعنی برای هر مرتبه نمونه در داش خشک گردیده و از روی آن اندازه مسامات معلوم می‌شود.

بعد از گذشت ۲۴ ساعت باید اولین بار از دیگ‌ها هوا کشیده شود، اگر هوا کشیده نشود، دیگ‌های مربوطه شاید انفجار کنند. برای کشیدن هوا وال سیا چرخش داده شود تا عقربه که به واحد بار عیار شده به صفر برسند و هوا باید مکمل کشیده شود. وقتی‌که هوا کشیده شد، نمونه از خاک گرفته شده و نمونه باید دوباره وزن شود که به کدام پیمانه آب از مسامات آن خارج گردیده است. وقتی‌که نمونه وزن گردید، بعداً برای ۲۴ ساعت به‌عین شکل در دیگ خردتر اله جابجاگردیده و عین پروسه انجام می‌گردد تا تمامی آب موجود از مسامات ۱۰ الی ۵۰ ملی مایکرون نمونه‌ها خارج گردد و دوباره پیچ‌های دیگ آله به‌صورت درست بسته می‌گردد. برای اجرای این آزمایش برای هر مرحله‌ی آن یک دیگ مخصوص وجود دارد که دیگ کوچک برای مسامات کوچک‌تر و دیگ بزرگ برای مسامات بزرگ‌تر در نظرگرفته شده و هرکدام به فشار خاص خود عیار گردیده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. این آله می‌تواند برای اجرای آزمایش‌ها در صورت نیاز تا ۳۳۰ بار فشار تولید نموده و بعد از ۲۴ ساعت دوباره به حالت اول بر می‌گردد. در اجرای آزمایشات ذریعه‌ی این آله برای تعیین اندازه‌های مختلف مسامات از فشار مورد نیاز استفاده گردیده و نمونه‌ها برای ۲۴ ساعت در دیگ آله که به دوسایز متفاوت می‌باشد، جابجا می‌گردد. زمانی‌که برای دریافت مسامات کوچک و متوسط نمونه‌برداری صورت گرفت نمونه‌ها باید به اندازه‌ی یک کیلوگرام به‌شکل مختلط از طبقات در یک خریطه پلاستیکی گرفته شوند، اما نمونه‌هایی که توسط استوانه گرفته می‌شود، باید در حالت غیر مختلط قرار داشته باشند.

وقتی‌که نمونه در لابراتوار منتقل گردید، اگر نمونه حاوی جغله‌ها باشد، باید اول‌تر از همه آن از مواد میده‌دانه جدا گردد. به‌خاطری‌که هوای موجود از مسامات کوچک و متوسط هوا خارج ساخته شود، دراین‌صورت به وارد کردن ۱۵ بار فشار بالای نمونه‌ها نیاز است و در موجودیت فشار متذکره جغله‌ها می‌شکنند و باعث ایجاد اشتباه در آزمایش می‌گردد؛ چون نظربه سایز دانه باید فشار تنظیم گردد. سرپوش دیگ‌های این آله مشابه به دیگ بخار داری واشر بوده و در هنگام آزمایش مانع خروج هوا از آن می‌گردد.

نمونه‌گیری ذریعه‌ی استوانه‌ها

- به‌صورت عموم از استوانه‌های نوع ۱۰۰ سانتی مترمکعب برای اندازه‌گیری قوه‌ی کپیلاری استفاده به عمل می‌آید. هنگامی‌که نمونه‌برداری از ساحه ذریعه استوانه صورت می‌گیرد، در این‌صورت

در ظرف مخصوص که نمونه‌ها جابجا می‌گردد، به ضخامت ۲سانتی متر آب بالای آن اضافه گردیده تا از قسمت تحتانی نمونه‌ها جذب گردد. بنابراین، نمونه‌ها تا زمانی در ظرف مخصوص که حاوی آب است قرار داده می‌شوند که آب الی قسمت فوقانی نمونه‌ها انتقال یافته و تشکیل یک غشای باریک و جلادار را نماید، واضح است که غشأ در اثر جذب آب از قسمت تحتانی نمونه‌ها و انتقال آن به سطح فوقانی تشکیل می‌گردد که به این ترتیب قدرت جذب آب اندازه و فیصدی مسامات تعیین می‌گردد.

- بخاطر دقت کار اگر در سطوح بیرونی ظرف مخصوص که در آن نمونه‌ها گذاشته می‌شوند، آب وجود داشته باشد باید به‌صورت مکمل توسط دستمال کاغذی یا تکه‌ی نخی پاک وخشک شود تا در هنگام وزن نمودن نمونه‌ها باعث افزایش وزن کاذب نمونه‌ها نشود. اگر این آب اضافی خشک نگردد، دراین‌صورت وزن دقیق نمونه‌ها دریافت نمی‌شود.
- هنگامی‌که نمونه‌ها از ساحه اخذ می‌گردند قبل از گذاشتن در ظرف مخصوص که حاوی آب می‌باشد وزن گردند؛ چون بعد از گذاشتن در ظرف مخصوص حاوی آب حالت طبیعی آن برهم خورده و توسط آب موجود ظرف مخصوص مشبوع می‌شود. به‌همین سبب است که قبل از گذاشتن نمونه‌ها در ظرف مخصوص حاوی آب و بعد از آن نمونه‌ها باید وزن شوند.

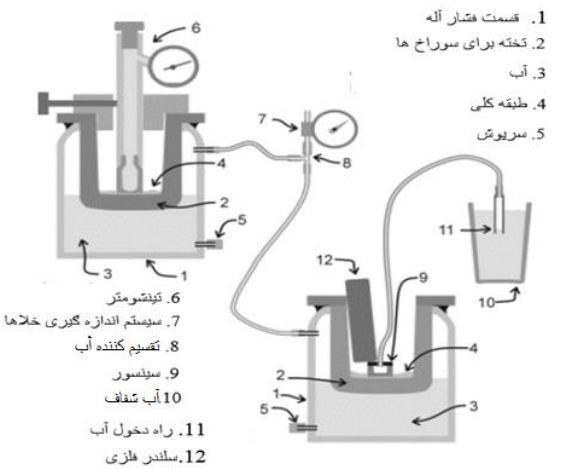
شکل ۲: استوانه‌های نمونه‌گیری در بکس نمونه‌برداری

جابجایی نمونه‌ها در دیگ‌های دستگاه طوری صورت می‌گیرد که در کاشی اولی (تحتانی) نمونه‌های افق C و درکاشی دومی (وسطی) نمونه‌های افق B و درکاشی سومی (بالایی) نمونه‌های افقA جابجا می‌شوند. فشار وارده توسط دستگاه از صفر شروع شده و به اندازه ضرورت که در فوق تذکر یافته

است(Td)، ختم می‌گردد. برای خارج ساختن هوای موجود از مسامات نمونه‌ها باید به قدر کافی توسط دستگاه فشار وارد گردد تا تمامی مسامات موجود در نمونه‌ها مسدود گردیده و قوه‌ی جذب به صفر تقرب نموده که قوه کشش بین آب و خاک به T نشان داده شده و توسط رابطه‌ی ذیل محاسبه می‌گردد:

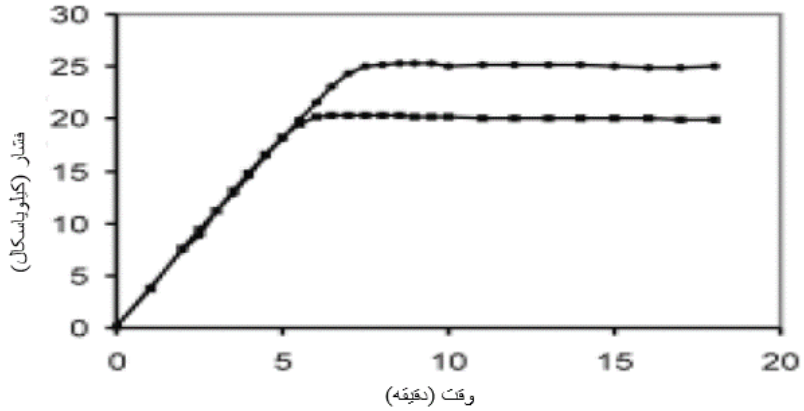
$$T = Td - p$$

در رابطه فوق Td عبارت از فشار هوای حباب‌ها بین فشار ۷ الی ۶۰ کیلو پاسکال بوده و در خصوصیات هایدرولیکی از ۴ الی ۱۰۰ مرتبه در تغییر می‌باشد، p عبارت از مقدار فشار بوده که توسط هوا وارد می‌گردد. در وقت عیار نمودن و اندازه‌گیری باید درجه حرارت خاک مثبت ۲۵، ± ۱ باشد (شکل ۳).

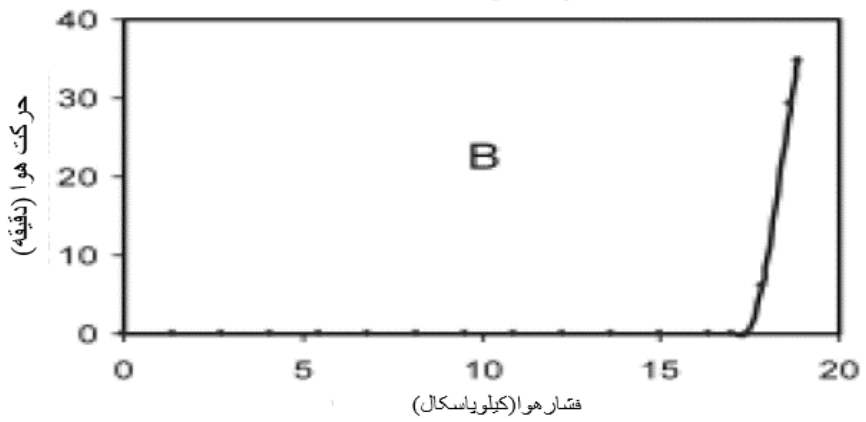


شکل۳: فشار منفی ریچارد چمبر که قوه‌ی کشش بین آب و هوا را نشان می‌دهد (۹)

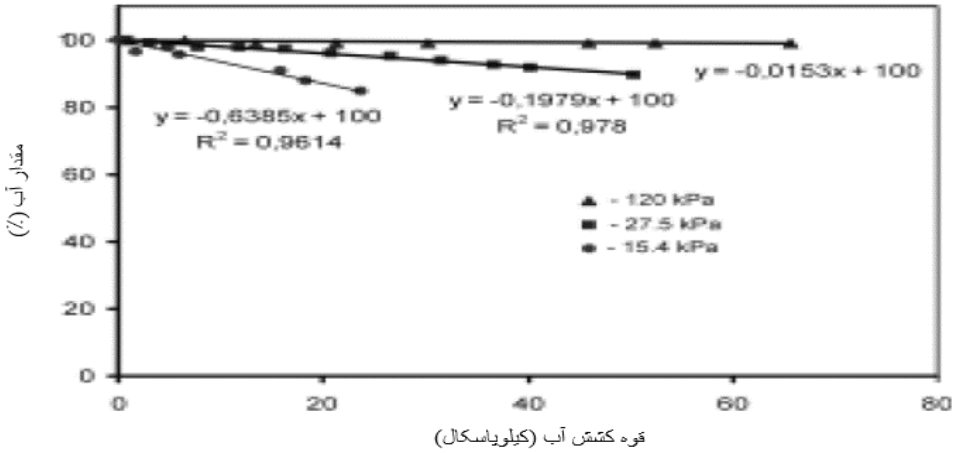
ذریعه‌ی این آله رابطه‌های مختلف بین آب و هوا اندازه‌گیری گردیده و به نوعیت خاک، تکسچر، سایز ذرات خاک و مقدار آب و هوا ارتباط مستقیم داشته و نوعیت خاک را نیز مشخص نموده و به این ترتیب می‌توانیم نوعیت مسامات، قوه‌ی جذب بین ذرات جامد خاک، هوا و آب را دریافت کنیم. معمولاً در طبقات از سطح به طرف عمق تعداد و اندازه مسامات خاک کاهش میابد، زیرا در اثر وزن طبقات فوقانی قسمت‌های تحتانی طبقه تحت فشار قرار می‌گیرد. به هر پیمانه که خاک‌هاجوان باشند، مسامات درآن‌ها بیشتر می‌باشد که در خاک‌های قدیمه به‌سبب استحکام یافتن تعداد مسامات کاهش یافته و تعداد آن نیز کم‌تر می‌گردد (اشکال ۴، ۵ و ۶).



شکل۴: فشار ریچارد به کیلو پاسکال با درنظر داشت وقت (۳)



شکل۵: فشار هوا به کیلو پاسکال و حرکت هوا نظربه وقت (۵)



شکل٦: قوه‌ی کشش آب در مقابل مقدار آب به فیصد (۴)

نتیجه‌گیری

چون مسامات کلی یک بخش مهـم صنعت و اقتصاد جوامع بشری را تشکیل داده و در امور آب‌های زیرزمینی، انجنیری، معادن و جیولوجی، نفت و گاز، آب‌های زیرزمینی و تعبیر و تفسیر پروسه‌های جیولوجیکی در حوزه‌های رسوبی مورد استفاده قرار دارد. آبی‌که از بین مسامات خاک عبور می‌نماید، می‌توان مواد منحله خویش را در بین این مسامات رسوب داده و باعث کاهش مسامات در طبقه خاک گردد که مقدار بیشتر این مواد منحله منرال‌های کلی می‌باشد.

در طبیعت سایزهای مختلف دانه‌ها به‌صورت مخلوط باعث تشکیل طبقه خاک گردیده و این ذرات مختلف پس از جذب آب انبساط نموده و بعد از، از دست دادن آب دوباره منقبض می‌گردند که این انبساط و انقباض خاک باعث تخریب و انهدام ساختمان‌های انجنیری می‌گردد. خاک‌ها معمولاً از طبقات مختلف تیتراهیدرال (چهارضلعی) و اوکتاهیدرال (هشت‌ضلعی) تشکیل شده است. منرال‌های کلی معمولاً از لایه‌ها تشکیل شده می‌باشند که بعضی از آن‌ها دولایه‌یی است؛ مانند کاولینایت که یک لایه آن تیتراهیدر و لایه دیگر آن اوکتاهیدر مـی‌باشد و بعضی‌آن‌ها مانند منرال مونت موریلونایت سه‌طبقه‌یی می‌باشند. اما منرال سمیکتایت دارای چهار طبقه است و به هرپیمانه که تعداد طبقات بیشتر باشند، به‌همان اندازه این منرال‌ها خاصیت انبساطی را دارا بوده و بعد از خشک شدن مجدداً منقبض می‌شوند. این پدیده در منرال سمکتایت بیشتر به ملاحظه رسیده و هنگامی‌که آب از طریق مسامات آن جذب می‌گردد، سبب تخریب پروژه‌های انجنیری می‌گردد.

پشنهادات

۱. چون موجودیت مسامات یک بخش مهم طبقات خاک و رسوبات را تشکیل می‌دهد، بنابراین، قبل از اعمار ساختمان‌های انجنیری منفذداری خاک و رسوبات ساحه مورد نظر باید به‌صورت مفصل و همه‌جانبه مورد مطالعه قرار گیرد.

۲. در شروع پروژه‌های ساختمانی باید تست‌های مختلف خاک مخصوصاً مسامات موجود در خاک انجام گردد تا پس از تکمیل پروژه باعث بروز مشکلات غیر متوقعه نگردد.

۳. بخاطر تست‌های خاک به وسایل و تجهیزات لابراتواری ضرورت است که مراجع مربوط باید در زمینه توجه خاص مبذول دارند.

منابع

(1) Abdou M. I. & Ahmed H. E. S. The Compatibility of Egyptian Bentonite during drilling shale .formations.Petrol. Sci. Technol.2011. 29 (1), 59 – 68.

(2) Gates, W. P., et al. Mineralogy of a Bentonite from Miles, Queensland, Australia and characterization of its acid activation products. App. Clay Sci. 2002. 20 (4-5), 189 – 197.

(3) Grim, R. & Guven, N. Bentonite: Geology, Mineralogy, Properties and Uses. Elsvier Science Publishing Co., InC., New York. 2003.

(4) Guggenheim, S. & Martin, R. T. Definition of clay and clay mineral: Joint report of the aipea Nomenclature and cms nomenclature committees. Clay, clay miner. 2010. 43 (2), 255- 256.

(5) Ni, J., Wei. et al. Does the Distribution of polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil particle-Size Separates Affect Their Dissipation during phytoremediation of contaminated soils. In function of Natural organic Matter in Changing Environment, Springer, Netherlands. 2013. pp, 669 – 672.

(6) Parvinzadah, M., et al.Ultrasonic assisted finishing of cotton with nonionic softener. Polym, plast.Technol. Eng. 2010. 49, 874 – 884.

(7) Parvinzadah, Gashi, M, & Eslami, S. Structural,optical and electromagnetic properties of aluminum clay Nanocomposites. Superlattices Microstruct. 2012.51, 135 – 148.

(8) Rao, K. S. Strategic use of soil in war operations: the role of depression flocculation thixotropic and Plasticity of clay. Defense Sci. J. 2013. 1 (2), 192 – 204.

(9) Saba, S. et al,. Further insight into microstructure of compacted Bentonite sand mixture. Eng. Geol. 2014. 168, 141 – 148.

(10) Uddin, F. Clays, Nano clays, and Montmorelonite Minerals, Metall. Matter Trans. A. (2008). 39A, 2804 – 2814.