

کارگاه‌های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران

بررسی ارتباط توزیع اندازه دانه‌ای با خواص فیزیکی و مکانیکی خاک با استفاده از مقاومت ویژه الکتریکی



چکیده

سه نمونه خاک از سایت ژئوفیزیک دانشگاه یزد تهیه و هر یک از این سه نمونه در هشت طبقه‌بندی بین ابعاد ۷۵ میکرون تا ۸۴۱ میکرون تقسیم شد. چون در تست تراکم استاندارد حجم خاک زیادی مورد نیاز است، تعریف شرایط بهینه برای تست تراکم در قالبی با حجم کمتر ضروری شد. پس از تعیین شرایط بهینه برای تست تراکم (۳ ضربه در هر لایه تراکم) در قالبی با قطر ۵/۶ سانتی-متر و اندازه‌گیری رطوبت بهینه نمونه‌ها، مقدار مقاومت ویژه الکتریکی در ۲۴ نمونه و در سه رطوبت اندازه‌گیری شد که یکی از این رطوبت‌ها مقدار رطوبت بهینه نمونه است. برای برقراری ارتباط بین مقاومت ویژه الکتریکی در ذرات با اندازه کمتر از ۷۵ میکرون در دو نمونه خاک تهیه شده، طی شش ساعت تغییرات مقاومت ویژه با ته‌نشین شدن ذرات خاک بررسی شد. با ته‌نشین شدن ذرات در محیط هیدرومتری مقاومت محیط افزایش داشته و مشخص شد که هر قدر میزان ذرات دانه‌ریز بیشتر باشد تغییرات مقاومت ویژه بیشتر است. ارتباط بین توزیع اندازه دانه‌ای و مقاومت ویژه بین مقادیر محاسباتی و مقادیر اندازه‌گیری شده انطباق خوبی را نشان داد.

کلید واژه‌ها: مقاومت ویژه، دانه‌بندی، توزیع دانه‌ای، خواص خاک

Investigation relationship between of the particle size distribution and physical and mechanical properties of soil using electrical resistivity

Abstrac

Three Soil samples of Geophysic site University of Yazd Preparation and each of the three samples in eight categories were divided between 75 microns to 841 microns. After define the optimal conditions for testing the density of the pellets was necessary to lower the volume. determining the optimal conditions for density testing (three Impact in each Density layer). The amount of compressional electrical resistivity In 24 cases and was measured in three moisture that one of this moisture is optimum moisture content of the sample. for communication between the electrical resistivity and particle size less than 75 microns In two soil samples were prepared, the six hours of resistivity changes. To particles in The hydrometer Increased peripheral resistance and Found that each particles more particles is higher resistivity changes. The relationship between grain size distribution and Electrical resistivity values between computational and measured values showed good agreement.

Keywords: Electrical resistivity, Grading, Grain distribution, Soil properties



مقدمه

از میان ابزارهای ژئوفیزیکی مورد استفاده در علم خاک روش الکتریکی به طور بالقوه در بررسی پارامترهای فیزیکی خاک موثر است [۱]. یکی از مزایای این روش این است که علاوه بر حساسیت بالا اثر مخربی ندارد [۲]. نتایج بررسی‌ها بر روی نمونه خاک‌های تغییر شکل یافته (که به طور مکانیکی متراکم شده‌اند) نشان داده است که حتی در تست‌های آزمایشگاهی خاک نمی-

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران

تواند به حدی متراکم شود که مقدار فضای خالی به صفر درصد کاهش یابد [۳]. نتایج بررسی ها روی مقاومت ویژه الکتریکی این خاک ها نشان داده است که مقاومت ویژه تابعی از مقاومت ویژه الکتریکی ساختمان خاک، آب منفذی، رطوبت و درجه اشباع می باشد [۴]. تراکم به فاکتورهای پیچیده ای شامل آب و هوا، خواص بیولوژیکی خاک و سایر شرایط آب و خاک بستگی دارد. تراکم خاک با افزایش بارگذاری خارجی منجر به کاهش تخلخل و تغییر توزیع اندازه ذرات می شود [۶]. دانسیته خشک و تخلخل کل، پارامترهایی هستند که اغلب برای مشخص کردن فشردگی یک لایه خاک مورد استفاده قرار می گیرند [۷]. افزایش تراکم خاک باعث افزایش دانسیته، کاهش تخلخل، تغییر در شکل و اندازه منافذ و تغییر در سایر خواص فیزیکی می شود [۸،۹،۱۰].



بحث و روش تحقیق

تهیه نمونه و شبیه سازی تست تراکم در قالب کوچکتر از قالب استاندارد

برای انجام آزمایشات مورد نظر تعداد سه نمونه خاک با نام های S1، S2، S3، از سایت ژئوفیزیک دانشگاه یزد تهیه و با هشت الک در محدوده اندازه های ۲۰ مش تا ۲۰۰ مش دانه بندی شد. نمودار دانه بندی این خاک ها در شکل ۱ ارائه شده است. سایت ژئوفیزیک دانشگاه یزد، در منتهی الیه گوشه جنوب شرقی دانشگاه یزد قرار گرفته است. این محل دارای رسوبات آبرفتی جوان به صورت مخلوطی از رس، ماسه، سیلت و شن می باشد. در یک چاه دستی حفر شده در این سایت تا عمق ده متری به سنگ کف کنگلومرایی برخورد شده است. رسوبات آبرفتی در محل حفر این چاه حاوی مقدار زیادی نمک و گچ هستند. نمونه های مورد آزمایش در این تحقیق از رسوبات خارج شده در اعماق مختلف از این چاه برداشت شده است.

با توجه به اینکه هریک از نمونه ها به هشت دانه بندی تقسیم شده اند حجم بسیار زیادی از نمونه برای اندازه گیری رطوبت بهینه در قالب تراکم استاندارد مورد نیاز است بنابراین نیاز به شبیه سازی تست تراکم در قالبی با ابعاد کوچکتر ضروری شد. دو قالب از جنس PVC با قطر ۵/۶ و قطر ۸/۳ سانتیمتر تهیه شده و تست تراکم برای نمونه خاک D_{۱۰} که قبلا با استفاده از قالب استاندارد میزان رطوبت بهینه آن به طور دقیق تعیین شده است، صورت گرفت. برای تعیین قالب مناسب تر احتمال برخورد چکش در هر ضربه به سطح خاک برای قالب استاندارد و نیز قالب های کوچکتر محاسبه شده و با تقسیم این دو مقدار بر هم نسبت تعداد ضربه ها محاسبه و با تقسیم عدد ۲۵ (تعداد ضربات در آزمایش استاندارد) بر عدد بدست آمده تعداد ضربه برای قالب جدید محاسبه شده است. از طرفی ارتفاع لایه های خاک مورد نظر در قالب استاندارد با دو قالب تهیه شده متفاوت است و اگر به همین منوال نسبت ارتفاعی را نیز در نظر بگیریم تعداد ضربات کمتر خواهد شد. در نهایت بدون در نظر گرفتن نسبت ارتفاعی تعداد ضربات برای قالب با قطر ۸/۳ ۱۷ ضربه، برای قالب با قطر ۵/۶، ۸ ضربه و با در نظر گرفتن نسبت ارتفاعی برای قالب با قطر ۸/۳، ۱۰ ضربه، برای قالب با قطر ۵/۶، ۳ ضربه محاسبه شد. میزان رطوبت بهینه برای یک نمونه خاک در دو قالب با تعداد ضربات متفاوت محاسبه شد (جدول ۱). بعلا نزدیک بون عدد بدست آمده از تست تراکم (۹/۴۲) در قالب با قطر ۵/۶ و تعداد ۳ ضربه با مقدار رطوبت بهینه حاصل از تست تراکم استاندارد برای همان نمونه که مقدار آن ۹/۴۵ بود قالب با قطر ۵/۶ و تعداد ۳ ضربه برای اندازه گیری رطوبت بهینه نمونه ها

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



انتخاب شد و مقدار رطوبت بهینه در تمامی نمونه ها با این روش اندازه گیری شد. لازم به ذکر است که برای اطمینان از نتیجه حاصله این تست دو بار تکرار شده و نتایج با نتیجه اولیه همبستگی بالای ۹۷٪ داشت.

جدول ۱: مقدار رطوبت بهینه برای هر نمونه خاک با تعداد ضربات مشخص

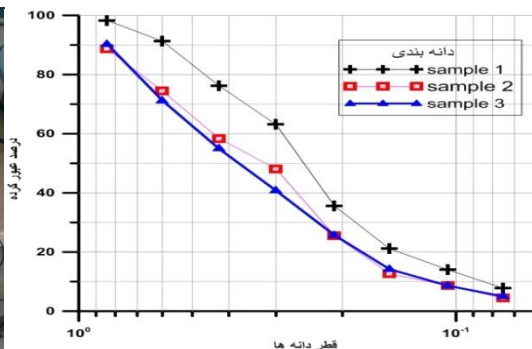
تست	قالب بزرگ ۱۷ ضربه	قالب بزرگ ۱۰ ضربه	قالب کوچک ۸ ضربه	قالب کوچک ۳ ضربه
رطوبت بهینه	۸/۹۶	۱۰/۱۹۶	۹/۱۲	۹/۴۲

اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی

پس از اندازه گیری فاکتور ژئومتری قالب (۰/۲۵) و کالیبره کردن نمونه گیر، به میزان ۵ درصد وزنی آب به نمونه اضافه شده و آن را کاملاً مخلوط نموده تا آب به طور یکنوخت در نمونه پخش گردد. سپس نمونه مورد نظر را در سه مرحله درست مانند تست تراکم داخل نمونه گیر ریخته و در هر مرحله سه ضربه روی آن اعمال می کنیم. برای جلوگیری از جابجایی نمونه گیر با یک گیره نمونه گیر را ثابت نموده و از تکان خوردن آن جلوگیری بعمل می آید. در قسمت انتهایی قالب در فاصله ۴ میلیمتری از کف قالب یک الکتروود و در قسمت بالایی قالب به فاصله نیم سانتیمتر از لبه، الکتروود متحرک اعمال می گردد. الکتروود انتهایی سر جای خود ثابت شده و از همان ابتدا روی نمونه گیر سوار است. الکتروود دوم در مرحله سوم اضافه کردن خاک بر روی نمونه گیر قرار می گیرد.

مشابه این عملیات برای نمونه S۱ در رطوبت های ۸٪ و رطوبت بهینه، برای نمونه S۲ در رطوبت ۱۰٪ و رطوبت بهینه و برای نمونه S۳ در رطوبت ۱۳٪ و رطوبت بهینه صورت گرفت. پس از تراکم، هر نمونه با کابل به الکتروودهای دستگاه اندازه گیری مقاومت LCR۴۰۰ متصل شده (شکل ۲) و میزان مقاومت هر نمونه در فرکانس ۱۰۰ هرتز برای هر نمونه ثبت شد. که با ضرب این مقدار در فاکتور ژئومتری مقاومت ویژه الکتریکی حاصل می گردد. برای بررسی اثر تراکم بر مقاومت ویژه الکتریکی نمونه S۲ و نمونه S۳ انتخاب شدند. از آنجا که رطوبت بهینه برای نمونه S۲ دارای مقدار ۱۲/۳ مقدار رطوبت دهی از ۸٪ وزنی شروع و تا ۱۸٪ وزنی با فاصله رطوبت ۲٪ صورت گرفت. برای نمونه S۳ که دارای مقدار رطوبت بهینه ۲۰/۴ است رطوبت دهی از مقدار رطوبت وزنی ۱۴٪ شروع و تا ۲۴٪ با فاصله ۲٪ صورت گرفت. در هر رطوبت به شیوه قبل تست تراکم روی نمونه ها با همان شرایط قبل و با استفاده از قالب معمول برای سه مقدار متفاوت ۲ ضربه، ۳ ضربه و ۵ ضربه صورت گرفت. قابل ذکر است که تخلخل نمونه ها با استفاده از همین قالب و تفاوت وزن نمونه خشک و تر اندازه گیری شد.

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



شکل ۱: نمودار دانه بندی برای نمونه های S1 و S2 و S3 شکل ۲: نحوه اندازه گیری مقادیر مقاومت نمونه ها

بررسی رابطه مقاومت ویژه الکتریکی با اندازه دانه های زیر ۷۵ میکرون

از آنجا که دانه بندی برای دانه های با اندازه کمتر از ۷۵ میکرون با روش هیدرومتری صورت می گیرد تستی طراحی شد تا در همان شرایط آزمایش هیدرومتری و درحالی که روی ستون هیدرومتری تهیه شده دو الکترواد اعمال شده است و در حین ته نشینی ذرات مقاومت ویژه الکتریکی محلول مورد نظر اندازه گیری گردید. دو نمونه خاک برای انجام آزمایش حاضر انتخاب شده است که تحت نامهای D10 و D3 از آنها یاد می شود. این نمونه ها نیز از چاه سایت ژئو فیزیک دانشگاه یزد و از عمق های ۳ و ۱۰ متری انتخاب شدند. پس از نمونه برداری از این دو نوع خاک ذرات عبوری از الک ۲۰۰ مش به عنوان نمونه های اولیه انتخاب شده اند. این نمونه ها با استفاده از روش ریفل تقسیم شده و در نهایت ۵۰ گرم نمونه نهایی برای انجام آزمایش جدا شده است.

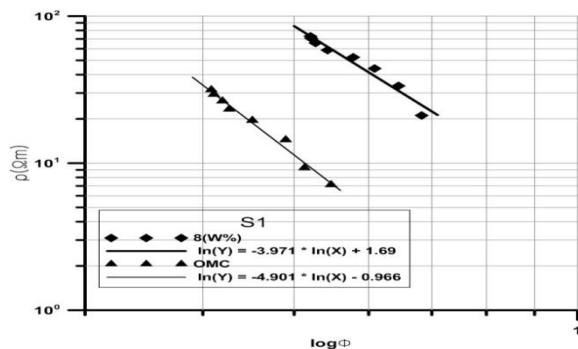
ستون تهیه شده از جنس پلی اتیلن و با ارتفاع ۱۳۰ cm و قطر داخلی ۵۴ mm، که دارای دو الکترواد از جنس مغز الکتروادهای جوشکاری معمول در بازار است که نزدیک کف و دو سانتی متر پایین تر از سطح محلول داخل ستون تعبیه شده اند. این ستون درپوشی دارد که در حین آزمایش از برخورد جریان هوا با محیط آزمایش جلوگیری می کند و توسط پایه نگهدارنده ای در حین آزمایش سر جای خود محکم می شود. الکتروادهای با استفاده از کابل هایی به دستگاه اندازه گیری مقاومت متصل می شوند. برای تهیه دوغاب مورد آزمایش ۵۰ گرم نمونه را در آب شهری خیسانده و ۱۲۰ سی سی محلول هگزامتاسولفات سدیم را نیز جداگانه در یک بشر در آب حل کرده و هر دو به ستون منتقل می شوند و در نهایت به حجم ۱۰۰۰ ml رسانده می شود. ستون به مدت ده دقیقه تکان داده می شود. دستگاه اندازه گیری مقاومت LCR ۴۰۰ دارای منوی اندازه گیری در حالات مختلف و در فرکانس ها متفاوت است که در اینجا در فرکانس محدوده مقاومت ویژه یعنی ۱۰۰ Hz تنظیم شده است. دستگاه دارای حالات مختلفی است که برای این تست در حالت C+R و نیز parallel قرار می گیرد پس از اتصال کابل هایی که یک سر آن به الکترواد ستون متصل شده به محل قطب های مثبت و منفی، جریان برقرار شده و مقادیر قابل ثبت اند. در زمان های مختلف بر حسب دقیقه از لحظه صفر شروع آزمایش اندازه گیری مقادیر مقاومت (R) در مقابل زمان و نیز به دلیل بررسی اثر تغییرات دمای محیط، مقدار دما نیز ثبت شده است. به این نحو که در طی حدود پنج ساعت تغییرات مقاومت ستون به ازای زمان شروع آزمایش به همراه دمای لحظه اندازه گیری مقادیر ثبت شده است. لازم به ذکر است که همین روند برای آب خالص (آب شهری) نیز به جهت مقایسه نتایج انجام شده است. برای بررسی تکرارپذیری این تست هر آزمایش چند بار صورت گرفته و تکرارپذیر بودن آن مورد بررسی قرار گرفت. اثر عوامل تاثیر گذار بر این فرآیند بررسی شده که اثر دما کمتر از دو درصد، اثر تراتس دستگاه با اندازه گیری روی میخ فولادی و میله برنجی ۲،۲ درصد و در

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران

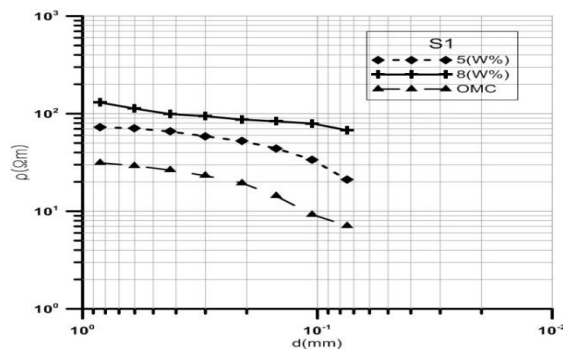
نهایت اثر نمونه برداری و لرزش که نمونه برداری باید دقیقا از کل محیط و از تمام اندازه های دانه های خاک صورت پذیرد تقسیم نمونه نهایی نیز باید به دقت توسط روش ریفل یا چهار قسمتی انجام گیرد. هرگونه لرزش در ستون منجر به برهم خوردن نظم موجود و دریافت جواب های کاملا درهم خواهد شد.

بررسی پاسخ های مقاومت ویژه الکتریکی در مقابل اندازه دانه ای

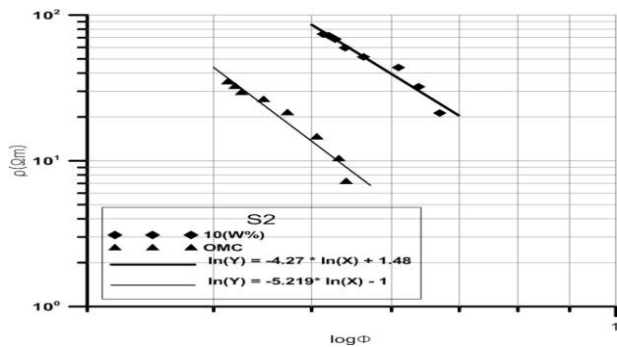
تغییرات مقاومت ویژه در نمونه ها کامل از قانون آرچی تبعیت کرده (شکل ۳). میزان تغییرات مقاومت ویژه در نمونه دارای رطوبت بیشتر بزرگتر بوده و نمونه های دارای رطوبت بهینه بیشترین مقدار تغییرات مقاومت ویژه را دارند. در بین نمونه ها نمونه S۳ به دلیل حضور گچ دارای مقدار مطلق مقاومت ویژه بیشتری است. مقدار فاکتور سیمان شدگی در نمونه دارای گچ بیشتر در رطوبت بهینه بیشترین مقدار است. اما در حالتی که رطوبت نمونه از مقدار رطوبت بهینه کمتر است، فاکتور سیمان شدگی در نمونه S۳ کوچکتر از نمونه S۲ بوده و تقریبا با نمونه S۱ برابر است که نشان می دهد اثر رطوبت بر تراکم در نمونه S۳ بیشتر است. در بین نمونه ها نمونه S۳ به دلیل حضور گچ دارای مقدار مطلق مقاومت ویژه بیشتری است. میزان کاهش مقاومت ویژه در رطوبت های کمتر از رطوبت بهینه دارای تغییرات بیشتری است و این تغییرات در نزدیکی رطوبت بهینه به بیشترین مقدار خود می رسد. و پس از نقطه رطوبت بهینه اثر رطوبت بر مقاومت ویژه کاهش می یابد. میزان تغییرات در نمونه دارای مقدار گچ بالاتر بیشتر بوده که علت آن می تواند بزرگتر بودن رطوبت بهینه این نمونه باشد.



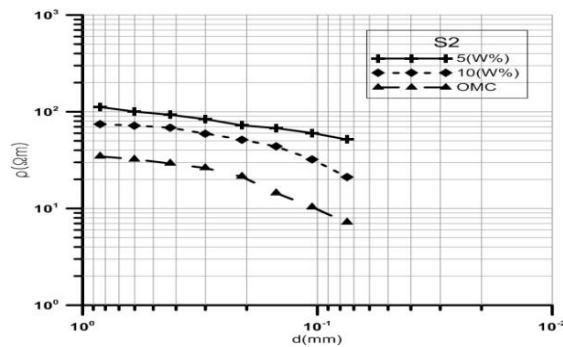
نمودار مقاومت ویژه در مقابل تخلخل، نمونه S۱



نمودار مقاومت ویژه - اندازه دانه ها، نمونه S۱

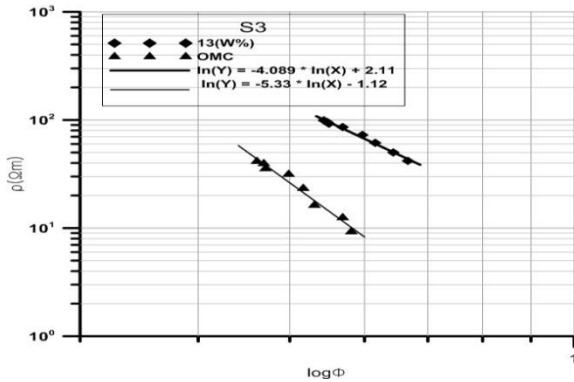


نمودار مقاومت ویژه در مقابل تخلخل، نمونه S۲

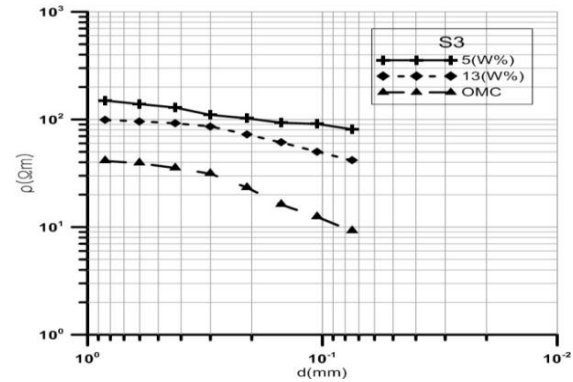


نمودار مقاومت ویژه اندازه دانه ها، نمونه S۲

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران

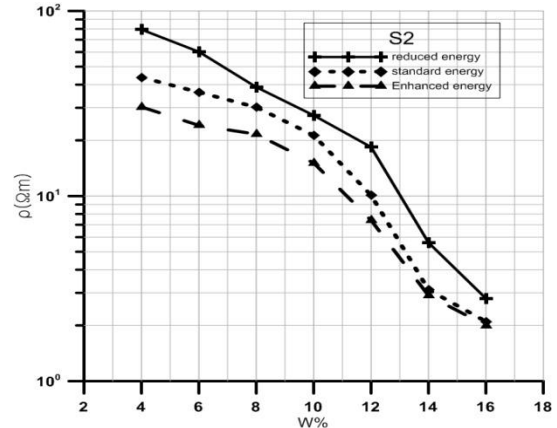
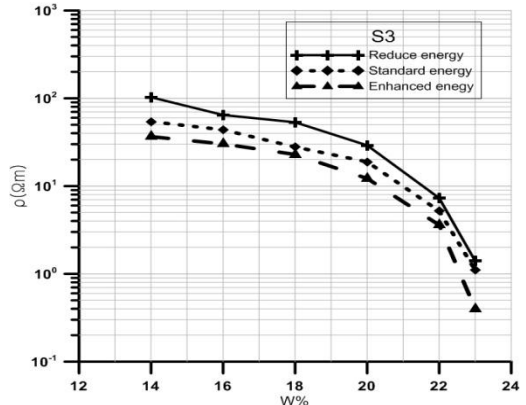


نمودار مقاومت ویژه در مقابل تخلخل ، نمونه S۳



نمودار مقاومت ویژه - اندازه دانه ها، نمونه S۳

شکل ۳: نمودارهای مقاومت ویژه الکتریکی در مقابل اندازه دانه ها و تخلخل



شکل ۴: اثر تراکم در رطوبت های مختلف روی مقاومت ویژه الکتریکی

ارتباط مقاومت ویژه الکتریکی با توزیع اندازه دانه ای

با توجه به اینکه هدف نهایی تعیین ارتباط بین منحنی دانه بندی با مقاومت ویژه است و چون مقاومت ویژه هر یک از فراکسیون ها مشخص است می توان ارتباط بین توزیع اندازه دانه ای و منحنی دانه بندی با مقاومت ویژه اندازه گیری شده در هر فراکسیون و مقاومت ویژه خاک مخلوط را بررسی کرد. در واقع ارتباط میان توزیع اندازه دانه ای و مقاومت ویژه نمونه دانه بندی

نشده قابل بررسی است. اگر a_i اندازه هر دانه و $f(a_i)$ تابع توزیع اندازه دانه ای باشد [۱۱]

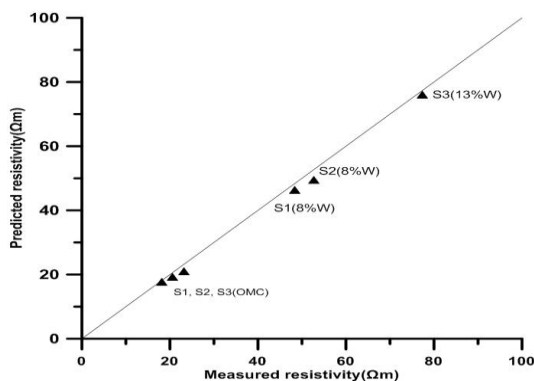
$$\rho_i = \sum_k^n \rho_i \cdot a_i = f(a_i) \cdot \rho_i \quad (1)$$

$$\sum_k^n f(a_i) = 1 \quad (2)$$

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



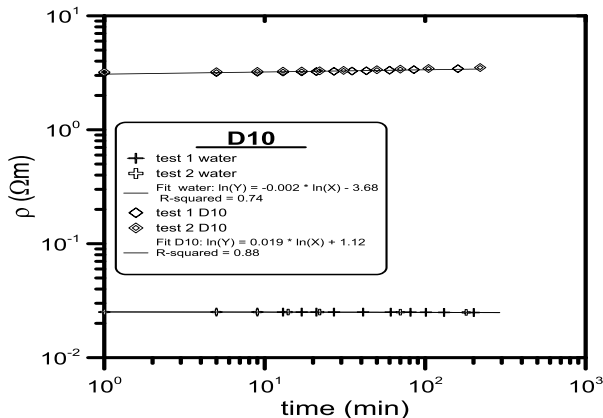
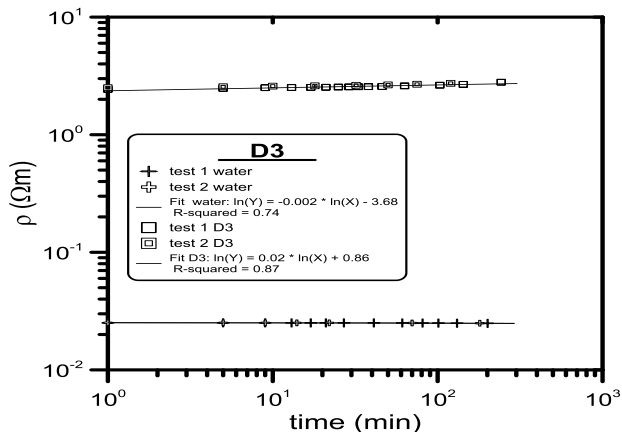
مشخص است که هر قدر مقدار رطوبت به سمت رطوبت بهینه پیش می رود انطباق بین این دو مقدار بهتر می گردد (شکل ۵).



شکل ۵: مقایسه بین مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده مقاومت ویژه الکتریکی

نتایج بررسی ارتباط بین دانه بندی به روش هیدرومتری با مقاومت ویژه

نتایج حاصل از اندازه گیری هایی که در نهایت دارای فاکتور تکرارپذیری نیز هستند در شکل های ۶ و ۷ قرار داده شده است. ته نشین شدن ذرات در محیط هیدرومتری مقاومت محیط افزایش می یابد. مشاهده می گردد که در هر دو بار اندازه گیری مقادیر آب خالص نمودار بسیار دقیق بدست آمده که نشان دهنده تغییرات کم در میزان مقاومت آب خالص است. اما در مورد دو نمونه D10 و D3، تغییرات در جهت افزایش مقاومت بوده است که این میزان افزایش از ابتدا تا پنج ساعت اولیه در نمونه D10 در حدود ۱۵٪ و در نمونه D3 در حدود ۲۰٪ بوده است. نمونه D3 دانه ریزتر است پس دانه های درشت آن سریعتر ته نشین شده و محیط تحت اثر دانه های ریزتر قرار می گیرد و با ته نشین شدن دانه های ریزتر تغییرات مقاومت بیشتر است زیرا شیب نمودار D3 بیشتر است که نشان می دهد اثر دانه ریزها بیشتر بوده است. نمودار D10 دارای شیب کمتری است از طرفی این نمونه دانه درشت تر است و دانه های درشت همان اول ته نشین شده و میزان دانه ریزهای کمتری در محیط باقی می ماند پس شیب نمودار تغییرات مقاومت کمتر است.



شکل ۷: تغییرات مقاومت ویژه در مقابل زمان نمونه D3

شکل ۶: تغییرات مقاومت ویژه در مقابل زمان نمونه D10

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران

می توان گفت که هر قدر ذرات دانه ریز بیشتر باشند تغییرات مقاومت سریعتر است. پس در نهایت تغییرات مقاومت بیشتر تحت اثر دانه ریزهای محیط است و این دانه ها هر قدر که افزایش می یابند شیب نمودار مقاومت در مقابل زمان بزرگتر خواهد بود.



نتایج

۱- تغییرات مقاومت ویژه در نمونه ها از قانون آرچی تبعیت می کند. میزان تغییرات مقاومت ویژه در نمونه دارای رطوبت بیشتر بزرگتر بوده و نمونه های دارای رطوبت بهینه بیشترین مقدار تغییرات مقاومت ویژه را دارند.

۲- در یک رطوبت یکسان با افزایش تراکم مقاومت ویژه کاهش می یابد. میزان کاهش مقاومت ویژه در رطوبت های کمتر از رطوبت بهینه دارای تغییرات بیشتری است و این تغییرات در نزدیکی رطوبت بهینه به بیشترین مقدار خود می رسد

۳- با استفاده از قوانین توزیع اندازه دانه ای و مقاومت ویژه، مقادیر p_t محاسبه و مقایسه بین مقادیر محاسبه شده و پیش بینی شده صورت گرفت. مشخص است که هر قدر مقدار رطوبت به سمت رطوبت بهینه پیش می رود انطباق بین این دو مقدار بهتر می گردد.

۴- با ته نشین شدن ذرات در محیط هیدرومتری مقاومت محیط افزایش می یابد. تغییرات مقاومت محیط بیشتر تحت تاثیر دانه های ریزتر اتفاق می افتد و هر چه ذرات دانه ریز بیشتر باشند میزان تغییرات مقاومت محیط بیشتر است. می توان گفت هر قدر شیب نمودار دانه بندی کمتر باشد تغییرات مقاومت محیط در آزمایش طراحی شده بیشتر خواهد بود.

۵- اثر آب منفذی در محاسبات اشباع در نمونه ها ظاهر شده و مشخص شد در ذرات ریزتر اثر آب منفذی باعث این امر می گردد که اشباع در رطوبت های کمتر اتفاق بیفتد.

۶- مقدار مقاومت ویژه نمونه خاک مخلوط برابر با مجموع درصد مانده روی هر الک در مقدار مقاومت ویژه آن است.



References

- ۱- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., Richard, G. (۲۰۰۵) Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil and Tillage Research ۸۳: ۱۷۳-۱۹۳.
- ۲- McCarter, W.J. (۱۹۸۴) The Electrical resistivity characteristics of compacted clay. Geotechnique ۳۴: ۲۶۳-۲۶۷.
- ۳- Yan, M., Miao, L. and Cui, Y. (۲۰۱۲) Electrical Resistivity Features of Compacted Expansive Soils. Marine Georesources & Geotechnology ۳۰: ۱۶۷-۱۷۹.
- ۴- Seladji, S. and Cosenza, P., Tabbagha, A., Rangerd, J., Richard, G. (۲۰۱۰) The effect of compaction on resistivity: laboratory investigation. European journal of soil science ۶۱: ۱۰۴۳- ۱۰۵۵.
- ۵- Lipiec, J., Hajnos, M., Świeboda, R. (۲۰۱۲) Estimating effects of compaction on pore size distribution of soil aggregates by mercury porosimeter. Geoderma ۱۷۹-۱۸۰: ۲۰-۲۷.
- ۶- Alaoui, A., Lipiec, J., Gerke, H.H. (۲۰۱۱) A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective. Soil and Tillage Research ۱۱۵-۱۱۶: ۱-۱۵.
- ۷- Hakansson, I., Lipiec, J. (۲۰۰۰) A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. Soil and Tillage Research ۵۳: ۷۱-۸۵.
- ۸- Blouin, V.M., Schmidt, M.G., Bulmer, C.E., Krzic, M. (۲۰۰۸) Effects of compaction and water content on lodge pole pine seedling growth. Forest Ecology and Management ۲۵۵: ۲۴۴۴-۲۴۵۲.
- ۹- Zhang, Sh., Grip, H., Lovdahl, L. (۲۰۰۶) Effect of soil compaction on hydraulic properties of two loess soils in China. Soil & Tillage Research ۹۰: ۱۱۷-۱۲۵.
- ۱۰- Ehrlich, R.; Etris, E. L.; Brumfield, D.; Yuan, L. P.; Crabtree, S. J.; "physical models for permeability and formation factor" AAPG Bull ۱۹۹۱. ۷۵(۱۰): ۱۵۷۹-۱۵۹۲
- ۱۱- Morgan, F. D.; Lesmes, P. D.; "Dielectric spectroscopy of sedimentary rocks" Geophysical Research ۲۰۰۱. ۱۳۳۲۹-۱۳۳۴۴.