نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۶، شماره ۱، سال ۱۳۹۸، صفحه ۵۵ تا ۶۸

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

بررسی اثر مواد افزودنی سیلیکات سدیم ، کائولینیت، سیمان و آب بر روی خواص رئولوژیکی و فیزیکی گروتهای پایه سیمان در مهندسی ساختمان

سینا کاظمیان[1*]

۱- استادیار، گروه فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، مشهد، ایران

چکیده

با پیشرفت تکنولوژی تزریق در صنعت بهسازی زمین ها، گروت ها و افزودنی های خاص نقش مهمی را ایفا می نمایند. در این پژوهش معیارهای ویسکوزیتی و رئولوژی گروت با استفاده از دستگاه ویسکوزیمتر مدل (DV—II+Pro) و همچنین معیارهای فیزیکی گروتها از جمله جمع شدگی (انقباض)، توده ویژه، مقدار اسیدیته بر روی گروت پایه سیمان بهمراه سیلیکات سدیم بعنوان ماده افزودنی شیمیائی، کائولینیت، سیمان و آب بررسی شده است. همچنین، ترکیبات مختلف گروت با درصدهای مختلفی از سیلیکات سدیم، کائولینیت و آب ساخته شده که نتایج بدست آمده نشان می دهد ازدیاد سیمان، کائولینیت و سیلیکات سدیم بر ویسکوزیته گروت اثر معکوس داشته و مقدار توده ویژه خاک در حد قابل قبول و اسیدیته گروت بیش از ۱۱ خواهد رسید که برای عملیات تزریق بسیار مناسب می باشد. همچنین اثر درصدهای مختلفی از سیلیکات سدیم بر خواص گیرش، توده ویژه و اسیدیته گروت بررسی شده و پیشنهاداتی برای مهندسین ساختمان و ژئوتکنیک ارائه شده است.

کلمات کلیدی: گروت، سیلیکات سدیم، کائولینیت، ویسکوزیتی، تزریق

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2017.95577.1293
۱۳۹۶/۰۵/۲۵	۱۳۹۶/۰۸/۲۸	۱۳۹۶/۰۹/۰۲	۱۳۹۶/۰۹/۰۲	۱۳۹۸/۰۴/۰۱	doi: 10.22065/JSCE.2017.95577.1293

*نویسنده مسئول: سینا کاظمیان

پست الکترونیکی: kazemian.s@pnum.ac.ir

Investigation of Sodium Silicate, Kaolinite, Cement and Water Effects' on Rheological and Physical Properties on Cement Based Grouts in Geotechnical and Geological Engineering

Sina Kazemian[1]*

1- Assistant professor, Department of Engineering, Payame Noor University,Mashhad, Iran

ABSTRACT

Due to the growing population growth in cities, the use of injection technology in the ground improvements, construction industry, geotechnical and geological engineering is increasing day by day. In this regard, the grout and its additive play a very important role in terms of injection conditions. In this research, viscosity and rheological measurements of grout using the viscosimeter of the model (DV-II + Pro) as well as the physical criteria of the grout, including shrinkage, specific gravity (Gs), acidity (pH) on the cement base grout with the chemical additive like sodium silicate, kaolinite as mineral additive, cement and water were investigated. In this research, various grout compounds containing various percentages of sodium silicate, kaolinite and water were prepared. The results show that cement, kaolinite and sodium silicate have a reverse effect on the viscosity of the grout. If the amount of soil specific soil is acceptable and the soil acidity is more than 11, which is very suitable for injection operations. Also, the effect of various sodium silicate percentages on the binding properties, specific mass and gravity of acidity were investigated, and the results are recommended for geological and geotechnical engineers especially people who are working ans studying in this field.

ARTICLE INFO

Received: 16/08/2017
Revised: 19/11/2017
Accepted: 23/11/2017

Keywords:
Grout,
Sodium Silicate,
Kaolinite,
Viscosity,
Injection

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2017.95577.1293

*Corresponding author: Sina Kazemian
Email address: kazemian.s@pnum.ac.ir

۱-مقدمه

در حالت کلی یک گروت یا در اصطلاح عامیانه دوغاب سیمان، بایستی روان و قادر به جایگزینی با آب و حفره های توخالی محیط موردنظر باشد. علاوه بر آن باید ضمن ثبات در محل خود، باعث ارتقای مقاومت مجموعه شده و در مقابل نیروهای محرک، پایداری نماید. بطور کلی یک گروت ایده آل، باید در طی زمان تزریق خواص خود را ثابت نگه دارد. شاروف و شاه (۱۹۹۰) و سیریا (۲۰۰۰) شرایط بررسی یک گروت ایده آل را به صورت زیر طبقه بندی نموده اند:

الف) معیارهای ویسکوزیتی و رئولوژی.

ب) معیارهای سنتی فیزیکی.

ج) معیارهای مقاومتی.

د) معیارهای ساختارهای میکروسکوپی.

ه) معیارهای موثر دیگر در گروت.

لازم به ذکر آنکه در این طبقه بندی، معیارهای سنتی فیزیکی توسط آزمایشات گروت همچون، آزمایش جمع شدگی یا انقباض (Shrinkage Test)، آزمایش تعیین مقدار اسیدیته (PH Test)، آزمایش تعیین توده ویژه (Specific Gravity Test) و آزمایش تعیین مقدار آب انداختگی (Bleeding Test) ارزیابی می شوند. همچنین در خصوص معیارهای موثر دیگر گروت ها، عواملی چون همگن بودن مجموعه گروت، کیفیت سنگدانه ها در مخلوط، ترتیب و زمان اختلاط و دمای محیط اشاره شده است[۱-۳].

۱-۱- معیارهای ویسکوزیتی و رئولوژی گروت

ویسکوزیتی علم بررسی تغییرات شکلی و سیالی یک مایع با زمان می باشد و حال آن که بررسی رئولوژی یک گروت بدون در نظر گرفتن همگن بودن و یا مخلوط بودن آن، به عواملی همچون ویسکوزیتی، الاستیک و پلاستیک بودن تا قبل از زمان گیرش بستگی دارد [3]. خواص ویسکوزیته و رئولوژی یک سیال به واسطه فرآیند مکانیکی موثر (مانند استفاده از پمپ های تزریق و ...) در جایگزینی گروت در خلل و فرج ها عوامل بسیار مهمی در علم ژئوتکنیک می باشند.

به بیان بروک فیلد (۲۰۱۰a)، ویسکوزیته یک سیال، تعیین اصطکاک داخلی آن می باشد که در اثر حرکت لایه های سیال بر روی یکدیگر ایجاد می شوند و با افزایش این پارامتر، به نیروی برشی بیشتری در راستای حرکت سیال نیاز می باشد. در واقع برش زمانی اتفاق می افتد که سیال به صورت فیزیکی دست خورده شود مانند ریختن، پخش کردن یا مخلوط کردن سیال و ....

با اندازه گیری پارامترهای رئولوژی یک سیال، پیش بینی های جامعی از جمله کنترل کیفی و کنترل رفتارهای شیمیائی، مکانیکی و حرارتی سیال را می توان بدست آورد و همچنین می توان اثر مواد افزودنی بر روی مدت زمان عمل آوری و ... گروت را نیز بدست آورد[۴] . علاوه بر آن، فاکتورهای رئولوژی در گروت ها با پایه سیمان پرتلند در فرآیند هیدراتاسیون، به تغییرات ساختار میکروسکوپی آنها و توسعه این فرآیند بخصوص با حضور مواد افزودنی که به راحتی قابل پمپاژ هستند نیز کمک شایانی می نماید [۵]. در عین حال بررسی خواص رئولوژی گروت های پایه سیمانی به واسطه تفاوت تمرکز و خواص ذرات، عدم معلق بودن یکنواخت آن ها در داخل گروت و نیز وابسته بودن این خواص به واکنش های شیمیائی در طی فرآیند هیدراتاسیون، بسیار مشکل می باشد [۶].

۱-۲-معیارهای سنتی فیزیکی گروت

۱-۲-۱- جمع شدگی (انقباض) گروت

جمع شدگی گروت با بررسی درصد تغییرات طولی یا حجمی از مرحله اولیه تا مرحله نهائی و در زمان طولانی اندازه گیری می شود [۷]. بر اساس آئین نامه آشتو C490، افت طولی یا حجمی یک گروت در زمان می تواند توسط روش ظرف جیوه اندازه گیری شود [۸]. سیریا (۲۰۰۰) و شاروف و شاه (۱۹۹۹) مقدار مجاز جمع شدگی گروت های حاوی سیلیکات سدیم در خاک های ماسه ای ریز تا متوسط، حداکثر ۲۵ درصد و برای خاک های شنی و زمین های سنگی بین ۵ تا ۱۰درصد بیان نموده اند.

۱-۲-۲-توده ویژه گروت

یکی از مهمترین خواص گروت ها، توده ویژه آن قبل از پمپ کردن می باشد که در آزمایشگاه طبق استاندارد آشتو تعیین می گردد [۸]. برای پمپ نمودن و تزریق مناسب یک گروت، توده ویژه خاک بایستی در حدود ۱ تا ۱/۱ باشد که به توده ویژه آب نزدیک می باشد [۹].

۱-۲-۳- آزمایش تعیین مقدار اسیدیته گروت

خاصیت اسیدی و یا بازی محیط، اثر بسیار مهمی بر مراحل ترکیبی و پولیمریزاسیون گروت ها دارد [۱]. در فرآیند هیدراتاسیون (تشکیل ژل با مقاومت بالا) در صورتی که مقدار pH محیط کمتر از ۹ باشد، نتیجه آن در محیط حل شده و فرآیند سخت شدن صورت نمی گیرد و اثر مخرب آن بر این واکنش، بطور مشخص ثابت شده است [۱۰-۱۳]

۱-۲-۴-آزمایش تعیین مقدار آب انداختگی گروت

جمع شدن یک لایه آب بر روی سطح بالاتی گروت تازه به پدیده آب انداختگی معروف می باشد. این پدیده به واسطه نشست ذرات جامد گروت و حرکت همزمان آب به سمت بالا به وجود می آید.

۱-۳-معیارهای مقاومتی گروت

مقاومت یک گروت از روش های مختلف از جمله، الف) نفوذ سوزن مقاومت مطابق آشتو C953، ب) آزمایش برش پره و ج) آزمایش مقاومت فشاری تک محوره بدست می آید.

۱-۴- معیارهای ساختارهای میکروسکوپی گروت

تغییرات ساختار میکروسکوپی گروت با و یا بدون حضور خاک از مرحله خمیری تا جامد مهم بوده و معمولا مطالعات میکروسکوپی اطلاعات بسیار مفیدی در خصوص مکانیزم ژل و تغییرات ساختار گروت ها در مرحله بهسازی ارائه می دهد. رییدِ (۲۰۰۵)، در خصوص آن، آزمایشات رایج به شرح زیر را معرفی می کند [۱۴]:

-Scanning Electron Microscope (SEM),

-Energy Dispersive X-ray Technique (EDX),

-Optical Microscope.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد مورد استفاده در پژوهش

مواد بکار گرفته در این تحقیق عبارتند از سیمان، سیلیکات سدیم، کلسیم کلراید، کائولینیت که مشخصات تک تک این موارد در جداول ۱ تا ۴ به تفکیک آمده است:

جدول ۱: ترکیبات شیمیائی سیمان

Constituent	(%)	Constituent	(%)
SiO_2	21.0	MgO	1.1
Al_2O_3	5.3	SO_3	2.7
Fe_2O_3	3.3	Na_2O	1.0
CaO	65.6	Loss of Ignition	0.9

جدول ۲: پارامترهای فیزیکی-شیمیائی کائولینیت

Constituent	(%)	Constituent	(%)
SiO_2	45.80	MgO	0.14
Al_2O_3	39.55	FeO	0.18
Fe_2O_3	0.57	K_2O	0.03
CaO	0.41		

جدول ۳: پارامترهای فیزیکی-شیمیائی سیلیکات سدیم مایع

Constituent	Value
SiO_2	28.7 (%)
Na_2O	8.9 (%)
Silica ratio (SiO_2/Na_2O)	3.22
Density	1.38 (Mg/m^3)
pH	11.3

۲-۲- روش مورد استفاده در پژوهش

۲-۲-۱- آماده سازی نمونه

مطابق جدول ۴، مواد افزودنی سیلیکات سدیم، کلسیم کلراید، کائولینیت در نسبت های مختلف و در ۲۰ ترکیب مخلوط شده و آزمایشات ویسکوزیته، جمع شدگی، توده ویژه و pH انجام گرفته است. شایان ذکر است که در این آزمایش مقدار کلسیم کلراید بعنوان واکنش دهنده به میزان نیم مول بر لیتر به هر ترکیب اضافه شده است [۱۵]. این آزمایشات بطور مشترک در آزمایشگاه بخش ژئوتکنیک دانشگاه پوترای مالزی و آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه پیام نور مرکز مشهد انجام شد.

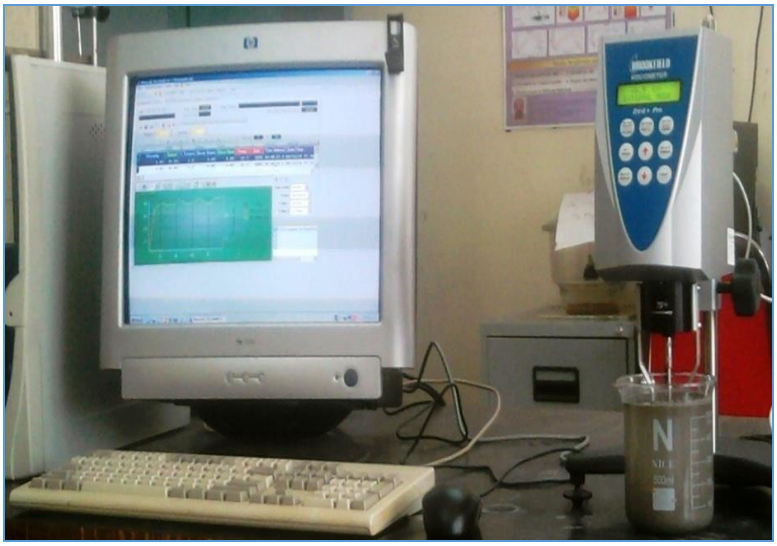
جدول ۴: ترکیب مواد مختلف گروت با درصدهای مختلف ترکیبی آن

No	Na (%)(سیلیکات سدیم)	Ce (%)(سیمان)	K (%)(کائولینیت)	W (%)(آب)
۱	۰	۲۰	۲۰	۳۰
۲	۰	۳۰	۲۰	۳۰
۳	۰	۲۰	۳۰	۳۰
۴	۰	۳۰	۳۰	۳۰
۵	۰	۲۰	۲۰	۴۰
۶	۰	۳۰	۲۰	۴۰
۷	۰	۲۰	۳۰	۴۰
۸	۰	۳۰	۳۰	۴۰
۹	۳۰	۲۰	۲۰	۴۰
۱۰	۳۰	۳۰	۲۰	۴۰
۱۱	۳۰	۲۰	۳۰	۴۰
۱۲	۳۰	۳۰	۳۰	۴۰
۱۳	۰,۵	۲۰	۲۰	۴۰
۱۴	۰,۵	۳۰	۲۰	۴۰
۱۵	۰,۵	۲۰	۳۰	۴۰
۱۶	۰,۵	۳۰	۳۰	۴۰
۱۷	۱	۲۰	۲۰	۴۰
۱۸	۱	۳۰	۲۰	۴۰
۱۹	۱	۲۰	۳۰	۴۰
۲۰	۱	۳۰	۳۰	۴۰

۲-۲-۲-روش های آزمایشگاهی بکار رفته

۲-۲-۲-۱- تعیین ویسکوزیته و رئولوژی گروت

در این پژوهش، برای تعیین ویسکوزیته و خواص رئولوژی گروت از دستگاه ویسکومیتر به نام Brookfield viscometer (DV−II+Pro), استفاده شده و سپس به کمک نرم افزار Rheocalc32، نتایج جمع بندی و مقایسه شده اند. شکل شماره ۱، دستگاه ویسکومیتر و کامپیوتر متصل به آن را نشان می دهد. پس از بررسی دستورالعمل دستگاه، مدل های مختلف میله های ویسکوزیته سنج (Spindle) و با توجه به نوع گروت، میله LV1 انتخاب شد و در شکل ۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که این میله قادر به اندازه گیری ویسکوزیته مخلوط هایی مانند گروت های پایه سیمان با بازه تغییرات ویسکوزیته ۱۵ تا ۲۰۰۰۰ سانتی پوز می باشد.



شکل ۱: ویسکومیتر مدل (DV−II+Pro)

با توجه به ترکیبات مختلف گروت های ساخته شده مطابق جدول ۴، هر نمونه بطور مجزا با حجم بین ۲- ۱۶ میلی لیتر در مخزن سیلندری دستگاه ریخته شده و سپس با چرخش سیلندر با سرعت دورانی مشخص و به کمک میله ویسکوزیته سنج و استفاده از نرم افزار Rheocalc32، تغییرات ویسکوزیته گروت نسبت به زمان بدست آمده است.

شکل ۲: سیلندر و میله ویسکوزیته سنج و نحوه انجام آزمایش توسط این دستگاه

۲-۲-۲-۲- تعیین جمع شدگی گروت

به واسطه واکنش های شیمیایی صورت گرفته در گروت ها، جمع شدگی طولی و حجمی گروت با زمان (مخصوصا در مجاورت هوای خشک) بسیار عادی می باشد، اما نباید از مقادیر مجاز فراتر رود. در این پژوهش، محاسبه جمع شدگی مطابق آئین نامه انگلستان بصورت خطی در نظر گرفته شده است [۱۶]. طبق این استاندارد قالب هائی به طول ۱۴ و قطر ۲/۵ سانتی متر تهیه و گروت تازه طبق جدول ۴ در آن ریخته و مقدار جمع شدگی آن در طول زمان اندازه گیری شده و در نهایت با استفاده از رابطه (۱) مقدار جمع شدگی پس از دو هفته محاسبه شده است. شکل ۳، مقدار افت نمونه ها را به وضوح نشان می دهد.

(الف) (ب)

شکل ۳: اندازه گیری افت خطی نمونه های گروت، الف) گروت تازه، ب) گروت خشک شده در هوای آزاد پس از دو هفته

$$\text{مقدار درصد افت گروت } (1-\frac{L_d}{L_0}) \times 100\% = \quad (۱)$$

که در این رابطه:

L_d: طول گروت خشک شده پس از افت.

L_o: طول اولیه گروت تازه.

۲-۲-۲-۳- تعیین توده ویژه گروت

توده ویژه نمونه ها، بر اساس استاندارد آشتو (ASTM C138) اندازه گیری شده است [7]. بدین منظور در یک بطری آب با حجم مشخص و دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، مقدار مشخصی از گروت را ریخته و حجم آن را محاسبه و طبق رابطه ۲، مقدار توده ویژه محاسبه شده است:

$$\text{توده ویژه خاک} = Gs = \gamma_s/\gamma_w \quad (۲)$$

در این رابطه:

γ_s : وزن واحد حجم خالص گروت

γ_w : وزن مخصوص آب

۲-۲-۲-۴-تعیین مقدار اسیدیته گروت

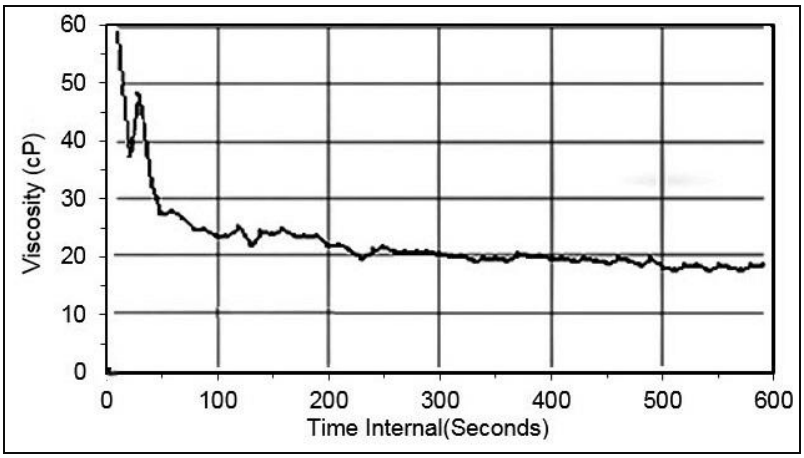
تعیین مقدار اسیدیته با استفاده از دستگاه مربوطه (شکل ۴) و طبق استاندارد انگلستان ((BS 1377(3)) صورت گرفته است [۱۶].

شکل ۴: دستگاه تعیین مقدار اسیدیته گروت (pH meter)

۳-نتایج و یافته ها

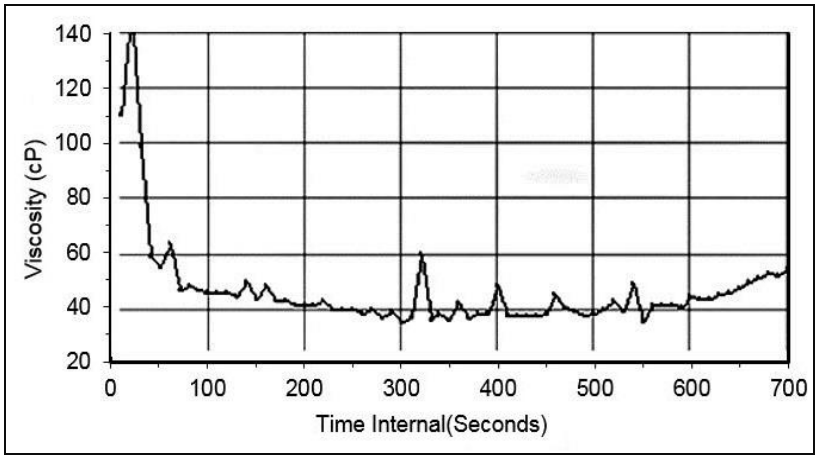
۳-۱- اثر سیمان بر ویسکوزیته گروت

تغییرات ویسکوزیتی در زمان برای گروت های شماره ۱ و ۲ از جدول ۴، در شکل ۵ و در دو قسمت (الف) و (ب) ارائه شده است. مطابق جدول ۴، تمامی اجزای گروت های ۱ و ۲، بجز مقدار سیمان مشابه می باشند. همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می گردد، ویسکوزیته گروت شماره ۱ با ۲۰ درصد سیمان، به حدود ۲۴ سانتی پوز و گروت شماره ۲، با ۳۰ درصد سیمان به ۴۸ سانتی پوز رسیده اند. لازم به ذکر است که این افزایش ویسکوزیته در اثر ازدیاد درصد سیمان، در تمامی ترکیبات ارائه شده در جدول ۴ بدست آمده است.



(الف)

شکل ۵: تغییرات ویسکوزیتی نسبت به زمان (الف) گروت شماره ۱، (ب) گروت شماره ۲



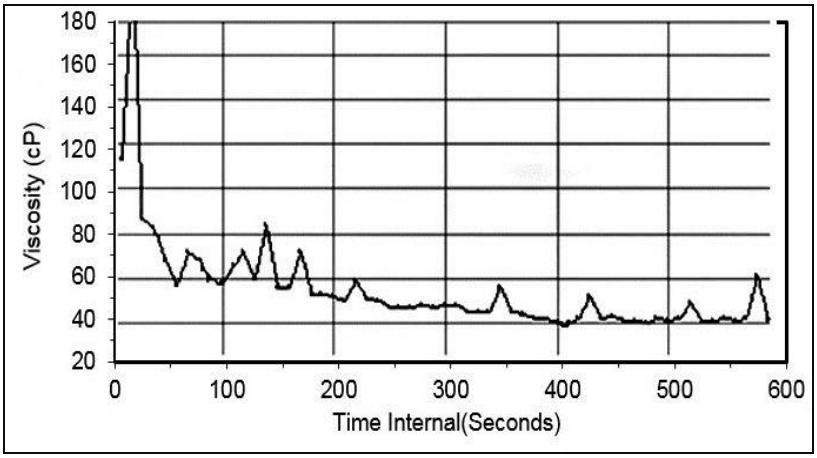
(ب)

ادامه شکل ۵:

کاظمیان (۲۰۱۱) واکنش آب با سیمان را به سه قسمت تقسیم نموده است: ۱)واکنش هیدراتاسیون بین سیمان و آب، ۲)واکنش های پوزولانی بین اجزا و سنگدانه های معدنی محیط (مثلا خاک کائولینیت) و آهک زنده آزاد شده از واکنش سیمان، ۳) تبادل یونی بین یون های کلسیم سیمان و یون های حاضر در مواد و سنگدانه های معدنی موجود در محیط [۱۶]. لذا افزایش ویسکوزیتی به واسطه افزایش سیمان در این بخش را می توان به افزایش واکنش هیدراتاسیون مرتبط دانست که در نتیجه جذب بیشتر آب محیط و افزایش ویسکوزیتی گروت می باشد.

۳-۲- اثر کائولینیت بر ویسکوزیتی گروت

در این پژوهش با تهیه نمونه هائی با درصدهای مختلف کائولینت، اثر تغییرات آن بر ویسکوزیتی گروت بررسی شد که نمونه نتایج در شکل های ۶ و ۵-(الف) آمده است. گروت های شماره ۱ و ۳ در مقادیر کائولینت متفاوت اما در مابقی اجزا ثابت می باشند. مشاهده می شود که ویسکوزیتی گروت با افزایش مقدار کائولینیت افزایش چشمگیری داشته است، برای گروت شماره یک با ۲۰ درصد کائولینیت، پس از ۱۰۰ ثانیه ویسکوزیتی به مقدار ۲۴ سانتی پوز رسیده و این درحالیست که برای گروت شماره ۳ با ۳۰ درصد کائولینیت، مقدار ویسکوزیتی به ۶۰ سانتی پوز افزایش یافته است (شکل های ۶ و ۵-(الف)).



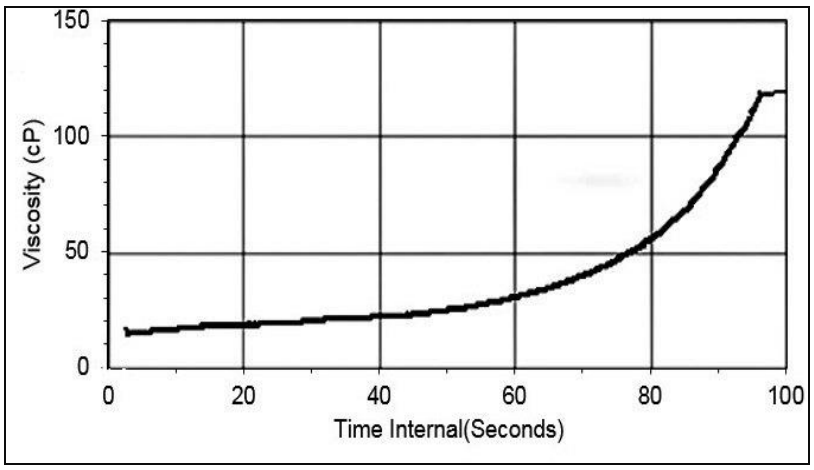
شکل ۶: تغییرات ویسکوزیتی نسبت به زمان گروت شماره ۳

این نتایج برای مابقی ترکیبات نیز بطور مشابه بوده و اثر مستقیم کائولینت بر ویسکوزیتی ثابت شده است. علت این امر نیز همانطور که در بالا اشاره شد را می توان در دلایل دوم و سوم از سه دلیل مذکور [۱۶] جستجو نمود. همچنین با مقایسه بین گروت های شماره ۲ و ۳، مشخص می شود که اثر کائولینت بر روی ویسکوزیتی نمونه ها بیشتر از سیمان می باشد که می تواند به دلیل اختلاف وزن مخصوص کائولینیت و سیمان باشد. می دانیم کائولینیت وزن مخصوص کمتری داشته و برای ایجاد وزن مشابه باید با حجم بیشتری در گروت اضافه گردد. بنابراین با توجه به سطح موثر ذرات کائولینت که به مراتب بیشتر از ذرات سیمان می باشند، این ذرات آب بیشتری جذب نموده و در نهایت ویسکوزیتی این مخلوط ها بیشتر از آن می باشند.

۳-۳- اثر سیلیکات سدیم بر ویسکوزیتی گروت:

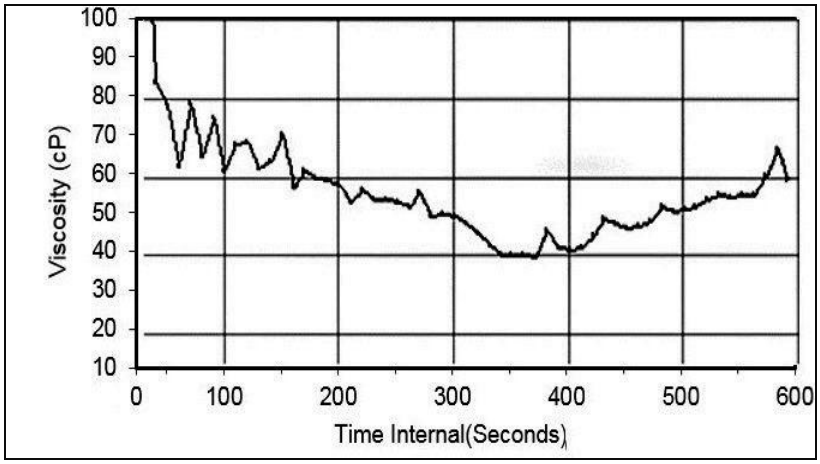
با اضافه کردن مقادیر ۰، ۰/۵، ۱ و ۳۰ درصد از وزن کل گروت، اثر ژل سیلیکات سدیم بر ویسکوزیتی گروت ها بررسی شده است که نمونه نتایج در شکل ۷ آمده است. اثر ژل بر ویسکوزیته گروت در سه حالت زیر بررسی شده است: ۱) بدون سیلیکات سدیم، ۲) با سیلیکات سدیم به مقدار زیاد (۳۰ درصد)، و ۳) سیلیکات سدیم به مقدار کم (مقدار یک درصد).

رفتار نمونه های شماره ۲، ۳ و ۵ (بدون سیلیکات سدیم) نشان از مشابهت آن با یافته های استرابل و جی (۲۰۰۱) [۱۷] می باشد. از سوی دیگر تغییرات ویسکوزیتی نسبت به زمان برای گروت های شماره ۱۰ با ۳۰ درصد سیلیکات سدیم که در شکل ۷ (الف) آمده است، نشان می دهد ویسکوزیتی این نمونه، پس از ۲۰ و ۴۰ ثانیه اختلاط، به ترتیب به ۱۷ و ۲۳ سانتی پوز رسیده و در ادامه با یک جهش زیاد به ۱۲۰ سانتی پوز پس از ۱۰۰ ثانیه می رسد. این در حالی است که مطابق شکل ۷ (ب)، در گروت شماره ۱۸ با ۱ درصد سیلیکات سدیم، ویسکوزیتی پس از ۱۰۰ ثانیه به ۶۵ سانتی پوز و پس از ۲۰۰ ثانیه به ۵۸ سانتی پوز می رسد. با مشاهده تغییرات در این نمودارها، روند نامشخص در تغییرات ویسکوزیتی مشاهده می شود. در واقع یافته های این قسمت از روند معکوس ویسکوزیتی گروت های با مقدار زیاد سیلیکات سدیم در مقایسه با گروت های بدون سیلیکات سدیم را نشان می دهد. سیمان و سیلیکات سدیم در حضور کلسیم کلراید در زمان کوتاه بشدت با یکدیگر واکنش داده که آبورین و همکاران (۲۰۰۱) [۱۷] نیز بطور کامل این فرآیند را توضیح داده اند.



(الف)

شکل ۷: تغییرات ویسکوزیتی نسبت به زمان (الف) گروت شماره ۱۰، (ب) گروت شماره ۱۸



(ب)

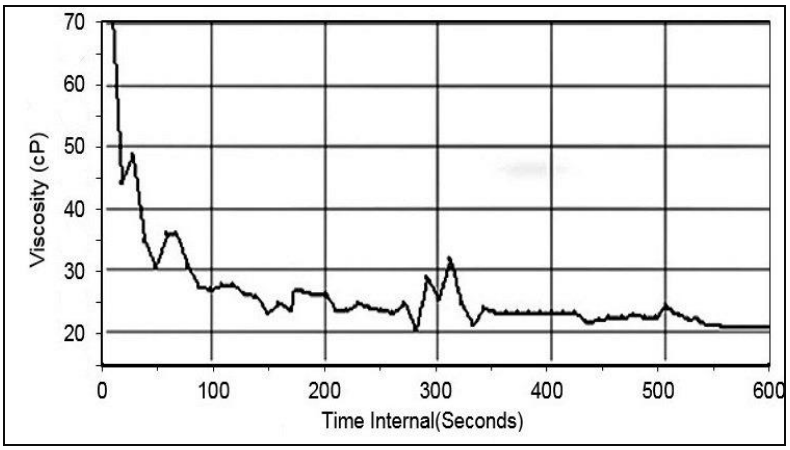
ادامه شکل ۷:

براساس روند تغییرات ویسکوزیتی گروت ها در زمان های مختلف، می توان نتیجه گرفت که با افزودن ژل سیلیکات سدیم می توان مسئله آب افتادن گروت های پایه سیمان را براحتی کنترل نمود. همچنین از آنجا که بکارگیری زیاد سیلیکات سدیم با یا بدون سیمان عملا غیر ممکن می باشد، از سیلیکات سدیم توصیه می شود به منظور تنظیم زمان گیرش در مواقعی که نیاز به گیرش در زمان کم می باشد (مثلا تزریق و بهسازی در زیر تراز آب) استفاده نمود. این یافته ها نیز با یافته های کلارک (۱۹۸۴) [۱۹] و کارول (۲۰۰۳) [۲۰] هماهنگ می باشد.

۳-۴- اثر آب بر ویسکوزیتی گروت

در این پژوهش اثر آب بر ویسکوزیتی گروت نیز مورد مطالعه قرار گرفت. اثر آب بر ویسکوزیتی در زمان های مختلف در اشکال ۶ و ۸ ارائه شده است. مطابق شکل ۶ ویسکوزیتی گروت شماره ۳ با ۳۰ درصد آب در زمان ۱۰۰ ثانیه بعد از اختلاط در حدود ۶۰ سانتی پوز بدست آمد که با افزودن آب به مقدار ۴۰ درصد از وزن گروت، مقدار ویسکوزیتی در ۱۰۰ ثانیه پس از اختلاط از ۲۸ سانتی پوز بیشتر تجاوز نکرد (شکل ۸) که این نتیجه در بقیه ترکیبات نیز بطور مشابه بدست آمده است.

در توجیه این پدیده نیز می توان گفت، بعد از تماس آب با سیمان سه فرآیند و واکنش در حالت کلی ایجاد می شود، حال با اضافه شدن آب به گروت با توجه به عدم تغییر مواد دیگر گروت، باعث رقیق شدن گروت و در نهایت کاهش محسوس ویسکوزیتی گروت ها خواهد شد.

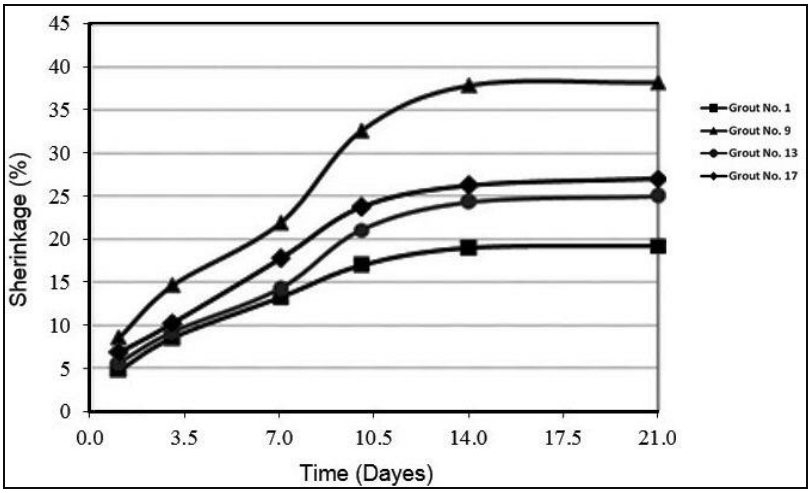


شکل ۸: تغییرات ویسکوزیتی نسبت به زمان گروت شماره ۵

۳-۵-پارامترهای موثر بر انقباض و افت گروت

اثر سیلیکات سدیم، سیمان، کائولینیت، و آب بر روی انقباض گروت های نیز در این پژوهش بررسی شد که در ادامه با توجه به تغییرات بیشتر سیلیکات سدیم بر این مشخصه گروت، فقط نتایج اثر سیلیکات سدیم که با اضافه کردن مقادیر ۰، ۰/۵، ۱ و ۳۰ درصد این ژل ارائه می شود. برای گروت شماره یک (فاقد سیلیکات سدیم)، مقدار انقباض در حد ۴/۷۸ درصد بعد از یک روز نگهداری در هوای آزاد و ۱۸/۹۵ درصد بعد از دو هفته نگهداری به ثبت رسید و این مقدار تقریبا ثابت بوده تا بعد از سه هفته به عدد ۱۹/۲۱درصد رسید (شکل ۹).

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می شود، سیلیکات سدیم به مقدار ۳۰ درصد بر روی انقباض بتن تاثیر قابل ملاحظه ای دارد. افت بتن در نمونه ۹ بعد از یک روز حدود ۸ درصد، پس از دو هفته به ۳۷ درصد و در نهایت به ۳۸ درصد پس از سه هفته قرارگیری در هوای آزاد رسیده است. دلیل آن، ایجاد ژل بیشتر بین سیمان و سیلیکات سدیم می باشد که در نهایت به افت بیشتر نیز منجر می شود. از سوی دیگر نتایج اثر آب، سیمان و کائولینیت بر روی افت بتن بعد از سه هفته نگهداری در هوای آزاد، به طور خلاصه در جدول ۵ آمده است. همانطور که ملاحظه می گردد، گروت های با درصد آب بیشتر مانند نمونه های ۲ و ۶ به افت بیشتری منجر شده است.



شکل ۹: اثر نسبت های مختلف سیلیکات سدیم بر روی انقباض گروت ها

نتیجه دیگر آنکه سیمان و کائولینیت بر روی افت بتن اثر مستقیم دارند، بدین معنی که با افزایش این دو ماده در گروت و پس از سه هفته نگهداری بتن در هوای آزاد، مقدار افت بیشتری به ثبت رسیده است. در هر صورت طبق آئین نامه سی ریا (۲۰۰۰) [۲]، مقدار افت حداکثر گروت نباید از ۲۵ درصد تجاوز کند.

۳-۶-بررسی تغییرات توده ویژه و مقدار اسیدیته گروت

توده ویژه و مقدار اسیدیته به عنوان آخرین پارامتر از خواص رئولوژیکی گروت ها مورد بررسی و اندازه گیری قرار گرفته اند. برای ۲۰ نمونه تعریف شده، نتایج آزمایش به تفکیک در جدول ۵ داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، گروت های شماره ۹ تا ۱۲ همگی شامل ۳۰ درصد سیلیکات سدیم بوده اما در بقیه مشخصات با یکدیگر متفاوت می باشند. این در حالی است که مقدار اسیدیته (pH) این گروت ها همگی بالای ۱۱ ثبت شدند. مقادیر توده ویژه گروت های ۹-۱۲ نیز بیش از یک بدست آمده اند که نشان دهنده سازگاری این ژل برای عملیات در زیر تراز آب زیرزمینی می باشد.

جدول ۵: مقدار اسیدیته، توده ویژه و افت نهائی گروت ها

شماره گروت (Grout)	اسیدیته (pH)	توده ویژه خاک (Specific Gravity)	افت بتن (%Shrinkage)
1	8.97	0.94	19.21
2	9.43	0.97	13.46
3	9.21	1.01	14.01
4	9.33	1.05	12.12
5	8.76	0.89	24.01
6	9.12	0.91	16.02
7	8.94	0.93	19.12
8	9.23	0.95	17.13
9	11.23	1.02	38.21
10	11.46	1.05	27.86
11	11.35	1.07	28.04
12	11.53	1.11	23.57
13	8.99	0.97	25.01
14	9.39	0.99	19.02
15	9.5	1.01	21.5
16	9.66	1.019	20.5
17	9.21	0.98	27.01
18	9.72	1.01	19.12
19	9.84	1.02	22.23
20	9.96	1.04	21.23

با توجه به نتایج جدول ۵، می توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار کائولینت و سیمان، مقادیر اسیدیته و توده ویژه خاک نیز افزایش یافته که این روند با افزایش سیلیکات سدیم در گروت ها سازگار بوده است. به عنوان مثال در گروت شماره ۳ با ۲۰ درصد سیمان، مقدار اسیدیته و توده ویژه خاک از ۹/۲۱ و ۱/۰۱ به ترتیب به ۹/۳۳ و ۱/۰۵ تغییر پیدا کرده است و مطابق نمونه ۴، هنگامی که فقط سیمان به ۳۰ درصد افزایش یافته، با افزایش مقدار اسیدیته واکنش هیدراتاسیون نیز بهتر صورت گرفته است.لازم به ذکر آنکه توده ویژه گروت ها بیشتر از ۱ اما نزدیک به توده ویژه آب برای عملیات تزریق و انتقال آن با پمپ به نقطه موردنظر بسیار مناسب می باشد [۲].

۴-نتایج

این پژوهش به منظور بررسی اثرات مواد افزودنی سیلیکات سدیم، کائولینیت و آب بر روی خواص رئولوژیکی گروت های انجام شده است. بدین منظور، ۲۰ ترکیب مختلف گروت ساخته شده است و تغییرات ویسکوزیته، افت، اسیدیته و توده ویژه خاک در تک تک نمونه ها بررسی شده و نتایج زیر بدست آمده است:

۱. با افزایش مقدار کائولنیت، مقدار ویسکوزیته گروت ها به دلیل افزایش واکنش های پوزلانیک در مجموعه افزایش می یابد. ضمنا اثر کائولینیت بر ویسکوزیته گروت بیشتر از اثر سیمان بوده که به علت کم بودن وزن مخصوص کائولینیت، افزایش سطح ذرات نسبت به سیمان و در نتیجه جذب بیشتر آب می باشد.

۲. اثر آب بر روی ویسکوزیته گروت نیز بررسی شده است که با افزایش آن، بدلیل آبدار نمودن گروت مقدار ویسکوزیته گروت کاهش یافته است.

۳. اثر سیمان و سیلیکات سدیم بر روی ویسکوزیتی نشان داده است که با افزایش نسبت های این دو ماده، ویسکوزیتی نیز افزایش یافته است. علت آن، ازدیاد واکنش هیدراتاسیون و واکنش های بین سیمان و سیلیکات سدیم بوده که منجر به ایجاد ژل های بیشتر می گردد.

۴. سیلیکات سدیم به گیرش سریع کمک می نماید که مناسب تزریق در شرایط آب های جاری و یا زیر زمینی می باشد. لذا با توجه به سرعت بالای گیرش و افت زیاد در گروت های با مقدار سیلیکات سدیم بالا، توصیه می شود بیش از ۳۰ درصد سیلیکات سدیم در گروت استفاده نگردد.

۵. مقدار افت بتن در تمامی موارد مورد آزمایش مشاهده گردید که سیلیکات سدیم از همه نمونه ها بیشتر بدست آمده است.

۶. با افزایش مقدار کائولینت و سیمان، مقادیر اسیدیته و توده ویژه خاک نیز زیاد می شود که این روند با افزایش سیلیکات سدیم در گروت ها سازگار می باشد.

منابع

1. Shroff, A. V., Shah, D. L. (1999). *Grouting Technology in Tunneling and Dam Construction.* 1st ed., Balkema, Rotterdam, Netherlands, 17−266.
2. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). (2000). *Grouting for Grouting Engineering*. CRIRIA Press, London, UK., 17−162.
3. Eklund, T. (2005). *Penetrability Due To Filtration Tendency of Cement Based Grouts.* PhD Thesis, Dept. of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm.
4. Brookfield Engineering Labs Inc. (2010a). *More Solutions to Sticky Problems: A Guide to Getting More from Your Brookfield Viscometer*. Bull. Brookfield Eng. Labs, 1−53.
5. Struble, L.J. and Ji, X. (2001). *Rheology. In Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*. (Ramachandran V.S. and Beaudoin J.J. (ed.)), William Andrew Publishing, New York, USA, 333−367.
6. Hånsson, U. (1993). *Rheology of Fresh Cement–Based Grouts*. PhD Thesis, Dept. of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm.
7. American Society for Testing and Materials Annual (ASTM C490). (1992). *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, PA. USA.
8. American Society for Testing and Materials Annual. (1992). *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, PA. USA.
9. US Army Corps of Engineers (USACE) and US Air Force (USAF). (2005). *Grouting Methods and Equipment*. University Press of The Pacific Press, USA, 92 pp.
10. Chen, H. and Wang, Q. (2006). *The Behavior of Organic Matter in the Process of Soft Soil Stabilization Using Cement*. Bull. Eng. Geol. Environ., Vol.65, 445−448.
11. Tremblay, H., Duchesne, J., Locat, J., and Leroueil, S. (2002). *Influence of the Nature of Organic Compounds on Fine Soil Stabilization with Cement*. Can. Geotech. J., Vol. 39, 535−546.
12. Kazemian **S.**, Huat, B.B.K., Farah N. A. A., Thamer A. M., Moayedi H. & Barghchi M. (2011). *Influence of Peat Characteristics on Cementation and Pozzolanic Reactions in the Dry Mixing Method.* The Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 6(36), Pp: 919 - 1169**.**
13. Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., and Panarese W.C. (2003). *Design and Control of Concrete Mixtures*. 14th ed. Portland Cement Association, Illinois, USA, 360pp.
14. REED, S. J. B. (2005). *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press, Edinburgh, UK, 232pp.
15. Kazemian S., Prasad A., Huat B.B.K., Bolouri B. J., Farah N. A. A. & Thamer A. M. (2011). *Influence of Cement-Sodium Silicate Grout Admixed with Calcium Chloride and Kaolinite on Sapric Peat*. Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 17(3), Pp: 309–318, DOI:10.3846/13923730.2011.589209.
16. British Standard Institution, (1990), *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes*. London, UK, BS 1377.
17. Struble, L.J. and Ji, X., (2001). *Rheology. In Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*. (Ramachandran V.S. and Beaudoin J.J. (ed.)), William Andrew Publishing, New York, USA, 333−367.
18. Aborin, A. V., Brykov, A. S., Danilov, V. V., & Korneev, V. I., (2001). *Tsement i Ego Primenenie*. *3*, 40-42.
19. Clarke, W. (1984). *Performance Characteristics of Microfine Cement*. ASCE Geotechnical Conference (pp. 14-18). Atlanta, USA: ASCE.
20. Karol, R. H., (2003). *Chemical Grouting and Soil Stabilization*. 3st ed., Marcel Dekker Inc., New Jersy, USA, 558 pp.