مطالعه آزمایشگاهی مدول الاستسیته دینامیکی گروت‌های پایه سیمانی با استفاده از تکنولوژی نانو و میکرو مواد

میثم شیرزاد شهریور*
کارشناس ارشد سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
امین قلی زاد
دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
Meysam.shirzad.1992@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۱۴

چکیده:

روش اندازه گیری سرعت گذر امواج اولتراسونیک بعنوان ابزاری برای آزمایش مصالح و به منظور تعیین کیفیت و مقاومت مورد استفاده قرار می گیرد. سرعت گذر امواج اولتراسونیک از جامدات به دانسیته و مشخصات الاستیسیته آنها بستگی دارد. کیفیت برخی از مواد در بعضی موارد بستگی به میزان سختی و الاستیسیته آنها دارد، بنابراین اندازه گیری سرعت گذر امواج در چنین مصالحی می تواند برای تعیین کیفیت و خصوصیات الاستیکی این مواد مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به کاربرد گروت‌های پایه سیمانی در صنعت سازه در پر کردن فاصله بین اعضای سازه‌ای و فونداسیون‌های بتنی و نیاز به توانایی جذب و انتقال انواع بارهای استاتیکی و دینامیکی توسط گروت به فونداسیون، همواره مهندسین سازه نیازمند گروتی با کیفیت، مقاومت و دوام بالا هستند. برای دست‌یابی به این مهم گروت باید دارای ساختار درونی مستحکم و با حداقل خلل و فرج و حفرات داخلی باشد تا بخوبی در شرایط مختلف جوی اعم از ذوب و انجمادهای متوالی و سایر شرایط نامساعد که در طول دوران سرویس، سلامت و کیفیت آن را تهدید می کند انجام وظیفه کند. جهت بررسی این ویژگی‌ها یکی از بهترین راه کارها تست سرعت عبور امواج اولتراسونیک از داخل نمونه های گروت هست که در این مقاله انجام شده و نتایج آن در قالب نمودار ها و جداول برپایه سرعت عبور امواج و مدول الاستیسسته دینامیکی مقایسه شده است. نتایج در بسیاری از موارد حاکی از افزایش مدول الاستیسیته دینامیکی بر اثر اصلاح ترکیب گروت با پودر نانوسیلیس و میکروسیلیس است بطوری که با جایگزینی نانوسیلیس و میکروسیلیس به ترتیب با ۱ و ۲۰ درصد وزنی سیمان در ترکیب گروت، افزایش ۶۴ درصدی مدول الاستیسیته دینامیکی حاصل گردیده است.

کلید واژگان: مدول الاستیسیته دینامیکی، گروت انبساطی، سرعت عبور امواج اولتراسونیک، نانوسیلیس، میکروسیلیس

۱- مقدمه

مهندسین سازه و بهره‌بردار کارخانجات نیاز دارند که تجهیزات و ماشین آلات به طور محکم و استوار و تراز در جای خود قرار گیرند تا ایمن و مطمئن کار کنند. لذا همیشه نیاز به ماده‌ای داشتند تا فاصله بین پایه دستگاه‌ها و فونداسیون بتنی آن را کاملاً پر کرده و بارهای استاتیکی و دینامیکی دستگاه را به طور کامل به فونداسیون انتقال دهد. مهم ترین مزایای گروت‌ها این است که مکانی که در آن گروت ریخته می شود را کامل پر می کند .گروت مصرفی با کاربری مورد نظر در این مطالعه باید خاصیت غیر انقباضی نیز داشته باشد.

علاوه بر این گروت‌ها به گونه‌ای طراحی شده اند که توان جذب نیروهای وارد و انتقال آن‌ها را به بخش زیرکار داشته باشد برای مثال در هنگام نصب انواع ماشین آلات نیروهای وارده از آنها توسط گروت به فنداسیون بتنی منتقل می شود. گروت‌ها باعث مقاومت‌های مطلوب و مطمئن و همچنین اتصال پایدار بین سازه‌ها و سطح زیر کار می شوند [۱].

روش اندازه گیری سرعت گذر امواج اولتراسونیک بعنوان ابزاری برای آزمایش مصالح و به منظور تعیین کیفیت و مقاومت مورد استفاده قرار می گیرد. سرعت گذر امواج اولتراسونیک از جامدات به دانسیته و مشخصات الاستیسیته آنها بستگی دارد.

کیفیت برخی از مواد در بعضی موارد بستگی به میزان سختی و الاستیسیته آنها دارد. بنابراین اندازه گیری سرعت گذر امواج در چنین مصالحی می تواند برای تعیین کیفیت و خصوصیات الاستیکی این مواد مورد استفاده قرار گیرد.

سرعت پالس مافوق صوت (UPV) یک تکنیک غیر مخرب است که شامل اندازه گیری صوت درون مصالح به منظور پیش بینی مقاومت مصالح، کشف وجود عیوب داخلی مانند ترک، حفره‌ها، پوسیدگی و سایر عیوب می باشد.

قوت این روش در یافتن تغییرات کلی در شرایط موجود (مانند وجود نواحی با بتن ضعیف) به واسطه ساختار صدا می باشد [۲].

۲-روش انجام پژوهش

در این پژوهش جهت بهبود کیفیت گروت تلاش شده است با کاربرد میکرو و نانوسیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرفی به اصلاح ترکیب گروت پرداخته شود لذا ۲۲ طرح اختلاط با استفاده از ۵،۱۰،۱۵،۲۰ و ۲۵٪ میکروسیلیس و ۱،۲ و ۳٪ نانوسیلیس به عنوان جایگزین سیمان و ترکیب‌های مختلف این دو ماده در گروت ارائه گردید که در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول۱: طرح اختلاط‌های اجرا شده در این پژوهش

	نام طرح اختلاط	w/c	سیمان kg/m^3	نانوسیلیس kg/m^3	میکروسیلیس kg/m^3	ماسه kg/m^3	فوق روان کننده kg/m^3
1	GN0M0	0.4	400	0	0	1920	1.2
2	GN0M5	0.4	380	0	20	1920	1.2
3	GN0M10	0.4	360	0	40	1920	1.2
4	GN0M15	0.4	340	0	60	1920	1.2
5	GN0M20	0.4	320	0	80	1920	1.2
6	GN0M25	0.4	300	0	100	1920	1.2
7	GN1M0	0.4	396	4	0	1920	1.2
8	GN2M0	0.4	392	8	0	1920	1.2
9	GN3M0	0.4	388	12	0	1920	1.2
10	GN1M5	0.4	376	4	20	1920	1.2
11	GN1M10	0.4	356	4	40	1920	1.2
12	GN1M15	0.4	336	4	60	1920	1.2
13	GN1M20	0.4	316	4	80	1920	1.2
14	GN2M5	0.4	372	8	20	1920	1.2
15	GN2M10	0.4	352	8	40	1920	1.2
16	GN2M15	0.4	332	8	60	1920	1.2
17	GN2M20	0.4	312	8	80	1920	1.2
18	GN3M5	0.4	368	12	20	1920	1.2
19	GN3M10	0.4	348	12	40	1920	1.2
20	GN3M15	0.4	328	12	60	1920	1.2
21	GN3M20	0.4	308	12	80	1920	1.2
22	GJ	**	***	***	***	***	***

نمونه‌های مکعبی ۵ سانتی متری تولید شده منطبق بر طرح‌های اختلاط مذکور تا رسیدن به سنین ۵۶،۲۸ و ۷۴ روزه نگهداری شده و در سن مورد نظر به شرح ذیل تحت آزمایش سرعت عبور امواج قرار گرفتند. لازم به ذکر است در کد طرح اختلاط‌های مذکور منطور از عدد مقابل حرفN درصد نانوسیلیس و عدد مقابل حرف M درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان است.(بطور مثال GN2M15 بیانگر گروت حاوی ۲ درصد نانوسیلیس و ۱۵درصد میکروسیلیس است).

شکل۱- قالب گیری نمونه های آزمایشگاهی گروت

پالس‌هایی که توسط یک مبدل منتشر می شوند از میان مصالح منتقل می شوند و توسط مبدل دیگر دریافت می شوند، به گونه‌ای که در فاصله L از مبدل فرستنده قرار می گیرند. زمان انتقال T بر حسب میکروثانیه از اولین پالس دریافت شده توسط دریافت کننده به وسیله ابزار الکترونیکی و به طور دقیق مورد اندازه گیری قرار می گیرد. پس از آن با استفاده از روابط ذیل مدول الاستیسیته دینامیکی گروت محاسبه می گردد. در شکل۲ تصویری از دستگاه مبدل سرعت پالس اولتراسونیک مورد استفاده در این پژوهش مشاهده می گردد.

$$V=L/T$$

L: طول مسیر برحسب میلیمتر

T: طول زمان انتقال نوسان بر حسب میکروثانیه

مدول الاستیسته دینامیکی جامدات الاستیک با فرمول زیر نمایش داده می شوند:

$$E_D = V^2.Q.\frac{(1+n)(1-2n)}{1-n}$$

E_d: مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی

V: سرعت نوسان بر حسب کیلومتربرثانیه

Q: دانسیته‌ی گروت بر حسب کیلوگرم برمترمکعب

n: نسبت پواسون دینامیکی برای گروت که در این پژوهش ۰/۱۵ درنظر گرفته شده است.

شکل۲–دستگاه مبدل سرعت پالس اولتراسونیک مورد استفاده در این پژوهش

۳–نتایج آزمایشات

۳–۱–نتایج کلی

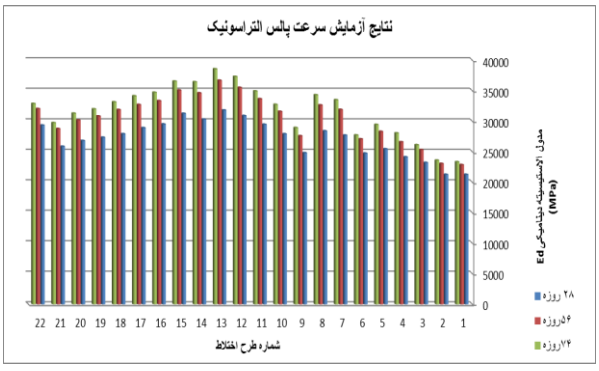
با توجه توضیحات و ارائه مشخصات فنی و روش‌های آزمایش سرعت پالس اولتراسونیک در بخش‌های قبلی، مدت زمان عبوری امواج اولتراسونیک از داخل نمونه در سنین ۵۶،۲۸ و ۷۴ روز محاسبه و ثبت شد که برای هر نمونه در هر سن و با هر طرح اختلاط میانگین ۳ عدد ثبت شده در جدول۲ مشاهده می گردد، سپس با استفاده از روابط مذکور مدول الاستیسته نمونه‌ها محاسبه شده و بر مبنای آن نمودارهای *مربوطه ارائه گردیده است.*

در این بخش به ارائه نتایج حاصل از تست تمامی نمونه‌های تولید شده در این پژوهش در قالب جداول مربوطه پرداخته شده و با ارائه نمودار-های مقایسه‌ای این نتایج تحلیل می شوند.

جدول۲– نتایج مربوط به آزمایش سرعت پالس اولتراسونیک

شماره طرح اختلاط	کد طرح اختلاط	زمان عبور امواج میکروثانیه	Edروزه۲۸ MPa	Edروزه۵۶ MPa	Edروزه۷۴ MPa
1	GN0M0	14.97	21238.7	22831.7	23311.1
2	GN0M5	15.2	21240.7	23029.4	23572.2
3	GN0M10	14.7	23191.8	25308.1	26099
4	GN0M15	14.4	24113.4	26580.5	28036
5	GN0M20	13.83	25429.3	28285.1	29425.2
6	GN0M25	14.55	24723.4	27064.3	27700.6
7	GN1M0	12.9	27671.6	31881.1	33479.1
8	GN2M0`	13.2	28370.9	32629.3	34293.4
9	GN3M0	14.2	24797.5	27574.8	28913.1
10	GN1M5	14.2	27891.4	31573.1	32712.8
11	GN1M10	13.1	29456.8	33639.7	34914.3
12	GN1M15	12.9	30878.1	35500.5	37299.7
13	GN1M20	12.8	31790.2	36673.4	38543.7
14	GN2M5	12.8	30298.9	34601.3	36416.9
15	GN2M10	12.69	31250.4	35063	36528.2
16	GN2M15	12.83	29498.9	33329.1	34698.9
17	GN2M20	13.42	28899.5	32691.1	34116.8
18	GN3M5	13.4	27899.5	31861.2	33126.8
19	GN3M10	13.55	27326.5	30809.1	31979.4
20	GN3M15	13.2	26797	30159	31273.4
21	GN3M20	1369	25845.6	28745.5	29723.5
22	GJ	13.2	29320.1	32017.6	32865.4

جدول۲ شامل نتایج کلی آزمایش سرعت عبور امواج اولتراسونیک گروت است که در شکل۳ جهت مقایسه و تحلیل آماری بر مبنای مدول الاستیسیته دینامیکی در قالب نمودار نمایش داده شده است.

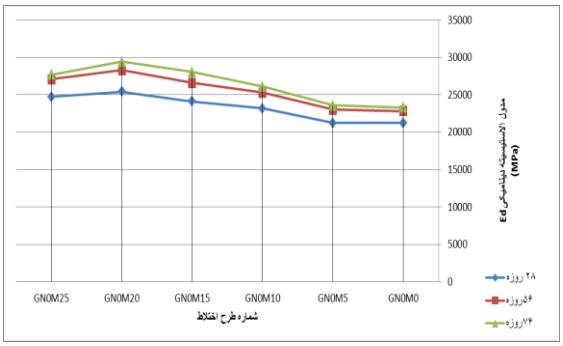


شکل۳– نتایج کلی مدول الاستیسیته دینامیکی

در شکل۳ دسته‌های ۳ تایی از نمودارهای مدول الاستیسیته دینامیکی بر حسب مگاپاسکال مشاهده می شود که مربوط به طرح اختلاط‌های مختلف در سنین ۵۶،۲۸ و ۷۴ روزه تحت شرایط مناسب نگهداری می باشند.در این نمودار فراز و فرودها و نقاط اوج نمودار به چشم می خورند که در ادامه به تحلیل جز به جز نمودار فوق می پردازیم.

۳–۲–بررسی نمودارهای مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های گروت حاوی میکروسیلیس

در ابتدا به بررسی ۶ طرح اختلاط ابتدایی این پژوهش یعنی گروت عادی و گروت‌های حاوی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵٪ میکروسیلیس جایگزین سیمان پرداخته شده و نتایج طی شکل ۴ ارائه می گردد.



شکل۴- نمودارهای مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های گروت حاوی میکروسیلیس

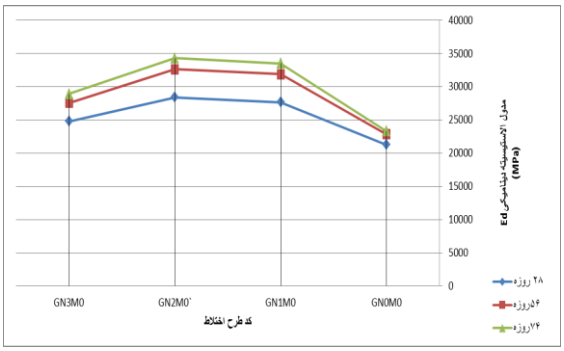
با مشاهده و بررسی نمودارهای شکل۴، در واقع به بررسی تاثیر میکروسیلیس بر خواص گروت از نظر مدول الاستیسیته و به تبع آن توپربودن و مقاومت فشاری و دوام گروت در شرایط نامناسب جوی می پردازیم.

با مشاهده کلی به نمودار شکل۴ تاثیر مثبت میکروسیلیس بر مدول الاستیسیته دینامیکی گروت مشهود است که البته میزان این افزایش در طرح اختلاط‌های مختلف متفاوت است. همانطور که مشاهده می شود با جایگزینی میکروسیلیس با ۵٪ وزنی از سیمان مصرفی در طرح اختلاط شاهد رشد چشم گیری در مدول الاستیسیته دینامیکی نیستیم این در حالی است که با افزایش این مقدار به ۱۵،۱۰ و ۲۰٪ نمودار با شیب قابل ملاحظه به ترتیب به میزان ۱۳,۳٪، ۱۸,۹٪ و ۲۴,۸٪ نسبت به نمونه طرح اختلاط شماره۱(GN0M0) افزایش نشان می دهد که البته کاهش شیب افزایشی نمودار در رسیدن به نقطه اوج این بخش یعنی طرح اختلاط GN0M20 مشهود است و در ادامه با افزایش جایگزینی میکروسیلیس با سیمان به میزان ۲۵٪ افت یکباره‌ای در مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های گروت مشاهده می شود که نشان دهنده عدم تکمیل شدن فرایند واکنش مواد پوزولانی و آب در اختلاط گروت و ایجاد خلل و فرجهایی در داخل نمونه‌هاست که قطعا به کاهش مقاومت فشاری و سایر ویژگی‌های گروت از جمله دوام آن در برابر شرایط نامساعد جوی منجر خواهد شد.

۳-۳-بررسی نمودارهای مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های گروت حاوی نانوسیلیس

در این قسمت صرفا نتایج حاصل از گروت‌های حاوی نانوسیلیس با گروت عادی مقایسه می گردد تا به صورت اختصاصی به تاثیر نانوسیلیس بر رفتار گروت پی ببریم و در راستای ارائه یک طرح اختلاط جامع و کارامد برای گروت تلاش کنیم.

در شکل۵ نمودار تاثیر جایگزینی نانوسیلیس با ۱،۲و۳٪ وزنی سیمان و مقایسه آنها با طرح اختلاط عادی گروت مشاهده می شود.



شکل۵-نمودار مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های گروت حاوی نانوسیلیس

طبق این نمودار با اضافه شدن ۱٪ وزنی نانوسیلیس به جای سیمان شاهد افزایش حدود ۴۳ درصدی مدول الاستیسیته دینامیکی گروت هستیم که علت این موضوع را می توان در واکنش سریع پوزولانی نانوسیلیس و پرکردن حفرات بسیار ریز درون گروت توسط ذرات با ابعاد ریز نانوسیلیس در مقیاس نانو و دست یابی به گروتی توپرتر و متراکم تر ریشه یابی کرد.

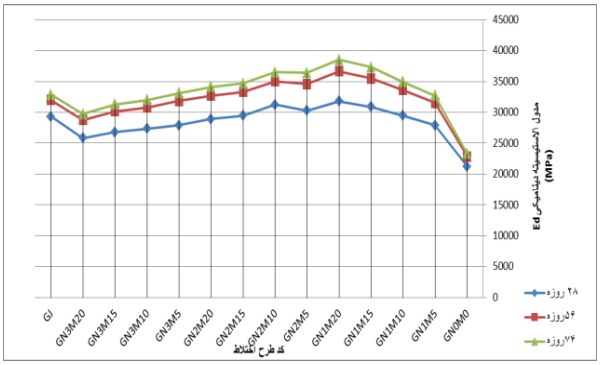
اما در ادامه با افزایش مقدار نانوسیلیس به ۲٪ علارغم استفاده از فوق روان کننده‌های ممتاز و صرف هزینه ۲ برابری بابت مواد تشکیل دهنده گروت افزایش چشم گیری در مدول الاستیسیته مشاهده نمی شود و با توجه به تجربیات بخش‌های قبلی انتظار افت یکباره نمودار با افزایش نانوسسیلیس به بیش از ۲٪ می رود، که در عمل نیز نمودار بیانگر این افت حدود ۲۰ درصدی نسبت طرح با ۲٪ نانوسیلیس می باشد و تقریبا می توان گفت که طرح اختلاط با افزایش فقط ۱٪ نانوسیلیس بیشتر نسبت به نقطه اوج نمودار(GN2M0) دچار افت کیفی می شود که چه از نظر فنی (مقاومت و مدول الاستیسیته) و چه از نظر کارایی و چه از نظر اقتصادی طرح معقولی به نظر نمی رسد، چرا که با این افت طرح اختلاط GN3M0 از نظر مدول الاستیسیته تقریبا هم تراز طرح اختلاط۱(GN0M0) قرار می گیرد، با این تفاوت که هزینه‌ای بیش از ۳برابری صرف آن شده و از نظر کارایی و روانگرایی در محل کارگاه نیز مشکلات بیشتری را شامل می شود. با توجه به تفاسیر گفته شده به طور قطع می توان پیش بینی کرد که با افزایش بیش از این مصرف نانوسیلیس حتی کیفیت‌های پایین تر از گروت‌های عادی و بدون هیچ گونه موادمضافی بدست خواهد آمد.

مطالب فوق از این رو بیان گردید تا ضرروت مصرف بهینه نانو مواد تشریح گردد و این توضیح داده شود که با توجه به اندازه‌های در مقیاس نانو این مواد و سطح مخصوص بالای آنها واکنش پذیری، جذب آب و تحریک پذیری آنها بسیار بالاست و همان طور که مشاهده شد با جایگزینی ۱ و ۲ درصدی نانوسیلیس با سیمان کیفیت گروت افزایشی بسیار قابل توجه و کارآمد نشان می دهد به طوری که می تواند بسیاری از مشکلات امروزه صنعت را مرتفع کند و گره از کار بسیاری از فعالان این صنعت بگشاید اما با اندکی بی توجهی یا زیاده روی در مصرف این

مواد ضررهای جبران ناپذیری به بار بیاورد که هم هزینه بالای صرف شده به هدر رود و هم امکان دست یابی به کیفیتی مطلوب از بین رود.

۳-۴-بررسی مدول الاستیسیته دینامیکی گروت حاوی ترکیبی از میکروسیلیس و نانوسیلیس

با بررسی تاثیر جداگانه میکروسیلیس و نانوسیلیس بر مدول الاستیسیته گروت و تشریح اهمیت بررسی این موضوع به نتایج مطلوبی برای ارائه گروت‌های مقاوم و با ویژگی‌های مطلوب دست یافتیم، اما با نگاه کلی به شکل۳ مشهود است که نتایج مطلوب تر و طرح اختلاط‌های کارامدتری وجود دارد که در دو بخش قبلی بررسی نشده اند و در واقع نقاط اوج نمودار مربوط به استفاده ترکیبی از این دو ماده با هم است لذا در ادامه با دقت بیشتری به بررسی این بخش از نمودار پرداخته می شود و شکل۶ ارائه می گردد.



شکل۶- نمودار مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های گروت حاوی ترکیبی ازمیکروسیلیس و نانوسیلیس

نتایج فوق شامل مقایسه بین گروت عادی و نماینده‌ای از گران قیمت ترین گروت‌های موجود در بازار با گروت‌های تولیدی در این پژوهش حاوی ترکیبی از ۵،۱۰،۱۵،۲۰ و ۲۵ ٪ میکروسیلیس و ۱،۲ و ۳٪ نانوسیلیس جایگزین سیمان، به همراه سایر مواد افزودنی با هدف بهبود ویژگی‌های گروت می باشد.

طبق نمودار فوق با مقایسه بخش‌های صعودی نمودار مدول الاستیسیته دینامیکی یعنی بخش‌های مربوط به طرح اختلاط‌های GN1M5، GN1M10، GN1M15 و GN1M20 افزایش به ترتیب ۴۰، ۴۹، ۶۰ و ۶۴ درصدی مدول الاستیسیته دینامیکی گروت‌ها نسبت به طرح اختلاط شماره ۱ مشهود است و در بررسی نرخ رشد شیب این نمودارها هم می توان گفت افزایش یکباره شیب نمودار بر اثر استفاده هم زمان ۱٪ نانوسیلیس و ۵٪ میکروسیلیس قابل توجه بوده و نمودار تقریبا با شیب یکسانی تا طرح اختلاط GN1M15 پیش می رود ولی علارغم رشد نمودار بر اثر استفاده از طرح اختلاط GN1M20، شیب افزایشی نمودار نرخ کمتری به خود می گیرد اما موضوع قابل ذکری که می توان به آن اشاره کرد رسیدن به نقطه اوج نمودار کلی مدول الاستیسیته دینامیکی است بیانگر تاثیر مثبت و به ثمر رسیدن جایگزینی همزمان میکروسیلیس و نانوسیلیس با مقادیر به ترتیب ۲۰ و ۱ درصد وزنی سیمان است. که علت آن را می توان در عملکرد سیمان و سایر مواد پوزولانی ریشه یابی کرد، به این ترتیب که سیمان علاوه بر انجام واکنش پوزولانی با آب در داخل گروت و ایجاد چسبندگی، با حضور در خلل فرج‌های روی سطح سنگدانه‌های مصرفی و حفرات ایجاد شده بین این سنگ دانه‌ها نقش پرکنندگی و ایجاد پیوند در داخل گروت را ایفا می کند.

با اینکه ذرات سیمان بسیار ریز هستند اما در مقایسه با مقیاس میکرو و نانو بازهم توانایی پرکردن ذرات میکروسکوپی را ندارند، حال با تمام این توصیفات و با آزمایش‌های جداگانه تاثیر میکرو و نانوسیلیس بر ویژگی‌های گروت می توان این استدلال را بیان کرد که حضور میکروسیلیس تا حدی حفرات و خلل و فرج‌های پر نشده توسط سیمان را جبران کرده و مابقی این حفرات که اندازه انها قطعا در حد در مقیاس نانو هستند توسط نانوسیلیس پر می شوند.

علاوه بر موضوع توانایی پرکنندگی بالای میکرو و نانو مواد نباید فراموش کرد که خاصیت واکنش سریع پوزولانی و چسبندگی هر دو ماده میکروسیلیس و نانوسیلیس به مراتب بیشتر از سیمان است که همین مورد در مقاومت بالا و بهبود کیفیت گروت‌های معرفی شده در این بخش مزید بر علت شده اند.

بعد از تشریح موفقیت‌های بدست امده در این بخش در بهبود و اصلاح برخی ویژگی‌های گروت‌ها به بررسی ادامه نمودارها می پردازیم که بعد از نقطه اوج نمودار سیر نزولی به خودگرفته اند و علارغم استفاده بیشتر از میکرو و نانو مواد و سایر مواد مضاف از قبیل مرغوبترین فوق روان کننده ها شاهد افت مدول الاستیسیته دینامیکی این گروت‌ها هستیم.

بیشترین شدت کاهش نمودار دقیقا بعد از نقطه اوج نمودار و با افزایش مقدار مصرفی نانوسیلیس به ۲و ۳٪ وزنی سیمان و ترکیب آن با میکروسیلیس بادرصدهای مختلف است. در این بخش از نمودار به صورت کلی تمام طرح اختلاط‌های حاوی۲و ۳٪ نانوسیلیس و ترکیبات مختلف میکروسیلیس افت حداقل ۶ تا ۳۰ درصدی را نسبت به نقطه اوج نمودار یعنی طرح اختلاط GN1M20 تجربه می کنند که علت آن قبل از انجام آزمایشات و در زمان تولید نمونه‌های گروت در آزمایشگاه است که برای استفاده از مقادیر بیشتر نانوسیلیس و میکروسیلیس مجبور به صرف آب در نظر گرفته شده در طرح اختلاط برای حل شدن و واکنش دادن این مواد می شدیم. همین موضوع باعث افت کارایی گروت و مشکلات اجرایی و قالب گیری گروت و به تبع آن مشکل گروت ریزی در کارگاه‌های اجرای گروت ریزی و تولید گروت‌هایی متخلخل می شود که دلیل عمده کاهش سرعت عبور امواج اولتراسونیک و مدول الاستیسیته دینامیکی گروت همین حباب‌های محبوس در گروت هستند. علاوه بر این با تفاسیر مذکور و مشاهدات عینی در آزمایشگاه می توان دلیل دیگر را عدم شرکت در واکنش پوزولانی سیمان یا سایر مواد مشابه(میکروسیلیس و نانوسیلیس) در داخل گروت به علت کمبود عامل اصلی واکنش یعنی آب و باقی ماندن ذراتی بدون واکنش و بسیار خطرناک برای سلامت گروت دانست [۴].

در ادامه در مقایسه آخرین نمونه تولیدی گروت در این مقاله یعنی طرح اختلاط GJ که مربوط به نماینده گروت‌های آماده موجود در بازار است

می توان بیان کرد که با وجود بهبود ۳۸ درصدی مدول الاستیسیته دینامیکی نسبت به طرح اختلاط شماره ۱، کیفیت بسیار پایین تری نسبت به بسیاری از طرح اختلاط‌های ارائه شده در این مقاله دارد.

۵-نتیجه گیری نهایی

۱-مدول الاستیسیته دینامیکی که در این مقاله با استفاده از آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک عبوری از داخل نمونه‌ها و روابط مربوطه به دست آمد، معیاری است جهت مقایسه کیفیت، مقاومت، توپر یا متخلخل بودن و یا حتی دوام گروت.

با استناد به نتایج بدست آمده در این مقاله تاثیر مثبت میکروسیلیس بر مدول الاستیسیته دینامیکی گروت مشهود است. به ترتیب با جایگزینی میکروسیلیس با ۱۵،۱۰ و ۲۰٪ وزنی سیمان مدول الاستیسیته دینامیکی گروت به میزان ۱۳،۳٪، ۱۸،۹٪ و ۲۴،۸٪ نسبت به نمونه طرح اختلاط شماره۱(GN0M0) افزایش می یابد.

۲- با اضافه شدن نانوسیلیس به طرح اختلاط گروت به عنوان جایگزین ۱٪ وزنی سیمان افزایش حدود ۴۳ درصدی در مدول الاستیسیته دینامیکی گروت مشاهده می شود که علت این موضوع را می توان در واکنش سریع پوزولانی نانوسیلیس و پرکردن حفرات بسیار ریز درون گروت توسط ذرات با ابعاد ریز نانوسیلیس در مقیاس نانو و دست یابی به گروتی توپرتر و متراکم تر دانست.

۳- نقطه اوج نمودار کلی مدول الاستیسیته دینامیکی همزمان با جایگزینی همزمان میکروسیلیس و نانوسیلیس با مقادیر به ترتیب ۲۰ و ۱ درصد وزنی سیمان اتفاق می افتد بطوری که نتایج آزمایش طرح اختلاط GN1M20 افزایش ۶۴ درصدی نسبت به طرح اختلاط شماره ۱(گروت عادی) نشان می دهد. که علت آن را می توان در عملکرد سیمان و سایر مواد پوزولانی ریشه یابی کرد، به این ترتیب که این مواد علاوه بر انجام واکنش پوزولانی با آب در داخل گروت و ایجاد چسبندگی، با حضور در خلل فرج‌های روی سطح سنگدانه‌های مصرفی و حفرات ایجاد شده بین این سنگ دانه‌ها نقش پرکنندگی و ایجاد پیوند در داخل گروت را ایفا می کند.

۴-با اینکه ذرات سیمان بسیار ریز هستند اما در مقایسه با مقیاس میکرو و نانو بازهم توانایی پرکردن ذرات میکروسکوپی را ندارند، حال با تمام این توصیفات و با آزمایش‌های جداگانه تاثیر میکرو و نانوسیلیس بر ویژگی‌های گروت می‌توان این استدلال را بیان کرد که حضور میکروسیلیس تا حدی حفرات و خلل و فرج‌های پر نشده توسط سیمان را جبران کرده و مابقی این حفرات که اندازه آنها قطعا در حد مقیاس نانو هستند توسط نانوسیلیس پر می شوند و به این ترتیب ترکیبات گروت حاوی مقادیر مشخص و محدودی از ترکیب این دو ماده مدول الاستیسیته بالاتری نسبت به سایر گروت‌ها را کسب می کند.

۵-این هشدار لازم به ذکر است که با استفاده بیش از حد مقادیر ترکیب میکرو و نانوسیلیس (بیش از ۲۰٪ برای میکروسیلیس وبیش از ۱٪ برای نانوسیلیس) افت شدید مدول الاستیسیته دینامیکی به علت کاهش شدید اسلامپ و مشکلات قالب گیری و گروت ریزی و در نتیجه تولید گروت متخلل اتفاق می افتد.

مراجع

[1]-R. Manikandan, K Ramamurthy, ‘’Effect of curing methods on characteristics of cold bonded fly ash aggregates’’, Cement and Concrete Composites, 30, 2008, 848-85.

[2]- MR Jones, MJ McCarthy, A McCarthy, “Moving fly ash utilization in concrete forward: a UK perspective”, International ash utilization Symposium, Paper#113, 2003.

[3]- Pipilikaki, P. Katsioti, M. Gallias, J.L.; “Performance of limeston cement mortars in a high sulfates environment”, Construction an Building Materials; (23): p. 1042 – 1049, 2009.

[۴]- متا و مونته ئیرو، ۱۳۸۳، "ریزساختار،خواص و اجزای بتن(تکنولوژی بتن پیشرفته)" ترجمه رمضانیانپور، ع. قدوسی، پ. گنجیان، ا. چاپ اول ،انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

[5]- Cyr, M. Lawrence, P. Ringot, E.; “Efficiency of mineral admix tures in mortars: quantification of the physical and chemical effects of fine admixtures in relation with compressive strength”, Cem Concr Res 36(2): p.264 –77, 2006.

[۶]- کتاب ۲۰۰ پرسش و پاسخ در زمینه تکنولوژی بتن، مصطفی احمدوند، انتشارات سینه سرخ، چاپ اول، بهار ۱۳۸۱.

[۷]- فرشاد وزین مرام، مصطفی احمدوند و محمد مهدی خداپرست، بکارگیری مواد نانویی در تولید بتن ، یازدهمین همایش سالیانه موسسه بین المللی بتن(ACI)-شاخه ایران.

[۸] شیرزاد شهریور، میثم، "*بهبود ویژگی‌های گروت پایه سیمانی با استفاده از نانو و میکرو مواد*» ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی؛ دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۳۹۵.

Laboratory Evaluation of Dynamic Modulus of Elasticity Cement-Based Grout to Improve the Quality by Using Nano and Micro-Technology

Meysam Shirzad Shahrivar
MSc in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili
Amin Golizad
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

Abstract:

Measurements of the speed of passing ultrasonic waves are used to determine the quality and strength of materials. Velocity of ultrasonic waves of solids depends on the density and elasticity characteristics. The quality of material depends on the firmness and elasticity of the, so measurement of the speed of passing waves can be used to determine the quality of and elastic properties. According to the application of cement based grout to bridge the gap between the members and the concrete foundation and the ability to absorb and transmit static and dynamic loads by grout into the foundation, structural engineers need to grout with high quality, strength and durability that has a strong internal structure and with minimal pores and cavities inside. Ultrasound waves passing speed test is done to check these features and its results are presented based on dynamic modulus of elasticity. The results show that the modified grout mix with nano-silica, silica fume, and dynamic modulus of elasticity increased so that by replacing 1% nano-silica powder and 20% micro silica powder in grout combination with cement, dynamic modulus of elasticity increased to 64%.

Keywords: Grout**,**Dynamic modulus of elasticity,*Durability* of grout , Nano-silica,Micro-silica