

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر مدول نرمی ریزدانه بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن

مجید یزداندوست^۱، محمود یزدانی^{۲*}

۱- کارشناسانجوی دکتری خاک و پی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار گروه عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

mahyaz@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۰۳

چکیده- از آنجایی که حدود ۳/۴ حجم بتن را مصالح سنگی تشکیل می‌دهد، مطالعه در مورد تأثیر ویژگیهای آن از قبیل نوع دانه‌بندی بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن ضروری به نظر می‌رسد حال آنکه تحقیقات مبسوطی در این زمینه انجام نگرفته است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر مدول نرمی مصالح سنگی ریزدانه بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن می‌باشد. بدین منظور با استفاده از ۷ نوع دانه بندی با مدول نرمی ریزدانه متفاوت و ۱۱ نسبت آب به سیمان مختلف، ۷۷ طرح اختلاط متفاوت طراحی و تحت آزمایش اسلامپ قرار گرفت. همچنین به واسطه طرح اختلاطهای طراحی شده، ۴۶۲ نمونه مکعبی و استوانه‌ای ساخته و در سنین ۷ و ۲۸ روز تحت آزمایش مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر تأثیر مسقیم مدول نرمی مصالح سنگی ریزدانه بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن می‌باشد. به این صورت که کاهش مدول نرمی ریزدانه از ۳/۲۶ تا ۲/۶۶، افزایش اسلامپ، مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی بتن را به همراه دارد. عامل افزایش پارامترهای مکانیکی بتن را می‌توان در انسجام ساختار دانه بندی مصالح سنگی با مدول نرمی کمتر دانست. همچنین وجود مصالح سنگی با ابعاد کوچکتر در ساختار دانه بندی با مدول نرمی پایین‌تر سبب شده است تا شرایط مناسب‌تری برای جابجایی ذرات بزرگتر فراهم آید که این امر افزایش نرخ اسلامپ را در مقابل کاهش میزان مدول نرمی به همراه داشته است. در نتیجه می‌توان گفت نوع دانه بندی مصالح سنگی به منظور ایجاد یک ساختار مناسب، تأثیر بسزایی بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ایفا می‌کند.

واژگان کلیدی- مدول نرمی ریزدانه، اسلامپ، مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی

۱- مقدمه

اجرا و شرایط عمل آوری، بتن را به یک ماده غیر قابل پیش بینی و پیچیده مبدل ساخته است. اما این امر چیزی از محاسن و مزایای این ماده ارزشمند نمی‌کاهد. مطالعه دقیق بر روی پارامترهای ذکر شده این شرایط را فراهم می‌سازد تا امکان تولید بتن هایی با خواص مطلوب فراهم آید. مصالح تشکیل دهنده بتن یکی از مهمترین پارامترهای تأثیر

امروزه بتن یکی از متداول ترین مواد در صنعت بشمار می‌رود، حال آنکه علیرغم مطالعات بسیار بر روی آن تا کنون شناختی جامع از رفتار و خواص آن بدست نیامده است. وابسته بودن خواص بتن به پارامترهای گوناگونی نظیر مصالح تشکیل دهنده، روند تولید و فرآوری، نحوه

مشخصات سطح سنگدانه‌ها می‌باشد، لذا مطالعات انجام شده در این زمینه بیانگر افزایش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن بواسطه استفاده از سنگدانه‌هایی با سطحی زبرتر و شکل ظاهری تیز گوشه‌تر می‌باشد [۸].

همچنین تراکم و انسجام ساختار سنگی بتن که سبب افزایش اندرکنش بین سنگدانه‌ها شده و غالباً ضعف ناشی از ماتریکس سیمان را پوشش می‌دهد، به شدت متأثر از نحوه توزیع اندازه ذرات مصالح سنگی می‌باشد به نحوی که استفاده از یک دانه بندی با مدول نرمی مناسب سبب افزایش مقاومت فشاری و کاهش خزش بتن می‌گردد [۹ و ۱۰].

لذا در این تحقیق از بین پارامترهای تأثیرگذار مصالح سنگی بر خواص بتن، به بررسی تأثیر میزان مدول نرمی ریزدانه بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن پرداخته شده است. مدول نرمی ریزدانه عبارتست از مجموع درصد مانده تجمعی بر روی الکهای استاندارد در ناحیه ریزدانه. در این مطالعه ۷ نوع دانه بندی با مدول نرمی ریزدانه متفاوت از یک نوع مصالح سنگی تهیه و به منظور حذف اثر نسبت آب به سیمان بر نتایج آزمایشات، برای هر تیپ دانه‌بندی، ۱۱ نسبت آب به سیمان در نظر گرفته شد که این امر نهایتاً منجر به طراحی ۷۷ طرح اختلاط گردید. در انتها نمونه‌های بتنی تهیه شده از لحاظ خواص فیزیکی و مکانیکی با هم مقایسه شده اند [۱۱].

۲- مراحل تحقیق

از آنجا که دستیابی به بتنی با ویژگیهای ایده‌آل از قبیل پارامترهای مکانیکی و پایایی مطلوب، کارایی مناسب، توجیه اقتصادی قابل قبول و ...، مبتنی بر شناخت کافی از تأثیر توامان ویژگیهای مصالح تشکیل دهنده بتن بر خواص بتن تشکیل یافته از آن می‌باشد، لذا در راستای نیل به این هدف، مطالعاتی در زمینه تأثیر مدول نرمی مصالح سنگی

گذار بر خواص آن می‌باشد. در نتیجه شناخت مصالح، بررسی اندرکنش مصالح با یکدیگر و تأثیر خواص هر یک بر خواص بتن تشکیل یافته از آن، از اهمیت بسزایی برخوردار است [۲۰ و ۲۱]. از جمله مصالح تشکیل دهنده بتن که با وجود سهم بالایی تأثیرگذاری آن بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن، اهمیت درخور توجهی به آن داده نشده، مصالح سنگی است. شکل ظاهری، توزیع اندازه ذرات، ابعاد، مشخصات سطح ذرات و کانی‌های تشکیل دهنده آن از جمله ویژگی‌های یک مصالح سنگی است که در ایجاد یک محیط همگن و یکپارچه که منجر به دستیابی به پارامترهای مکانیکی مطلوب بتن می‌گردد، تأثیرگذار است [۳ و ۴]. لذا معیار پذیرش یک نوع مصالح سنگی به عنوان مصالح ایده‌آل، تابع پارامترهای مختلفی است که این امر لزوم بررسی تأثیر هر یک از پارامترهای مذکور را بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن مسجل می‌سازد.

نتایج مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر جنس مصالح سنگی و کانی‌های تشکیل دهنده آن بر پارامترهای مکانیکی بتن حاکی از آن است که میزان تأثیرپذیری مقاومت فشاری و کششی بتن از تغییرات پارامترهای مکانیکی سنگدانه تا حد زیادی به ویژگیهای ماتریکس سیمان بستگی دارد به گونه‌ای که استفاده از سنگدانه‌هایی با پارامترهای مکانیکی بالا نظیر سنگدانه‌های گرانیتی در بتنهایی با ماتریکس سیمانی ضعیف، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن حاصله ندارد. از سوی دیگر تأثیر نوع کانی مصالح سنگی بر پارامترهای مکانیکی بتن در شرایطی ملموس است که از لحاظ مقاومتی سنگدانه و ماتریکس سیمان با شرایطی همسطح باشند. در این شرایط است که تأثیر فصل مشترک سنگدانه و ماتریکس سیمان که ناشی از نوع کانی مصالح سنگی است، بسیار چشمگیر است [۵، ۶ و ۷].

از آنجا که نحوه قرارگیری سنگدانه‌ها در کنار هم و تشکیل یک ساختار سنگی منسجم تابع شکل ظاهری و

جدول (۱) مشخصات فیزیکی و مکانیکی مصالح سنگی

واحد	مقدار	مشخصات
MPa	۲۲۸/۳	مقاومت فشاری
GPa	۶۴/۹	مدول الاستیسیته
Kg/m ³	۱۶۵۰	وزن مخصوص
-	۲/۶۷۸	چگالی
%	۰/۴	درصد جذب آب

سیمان: سیمان مصرفی، سیمان تیپ ۱ تهران منطبق با استاندارد ASTM C150 می‌باشد که پارامترهای مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول (۲) مشخصات مکانیکی سیمان

واحد	مقدار	مقاومت فشاری
kg/cm ²	۲۲۴	۳ روزه
kg/cm ²	۲۸۷	۷ روزه
kg/cm ²	۴۰۳	۲۸ روزه

جدول (۳) مشخصات فیزیکی سیمان

واحد	مقدار	مشخصات
cm ² /gr	۳۱۰۰	سطح ویژه
min	۱۴۰	زمان گیرش
%	۰/۰۳	مقدار انبساط حجمی در زمان گیرش
%	۲۵	آب مورد نیاز جهت هیدراتاسیون

جدول (۴) مشخصات شیمیایی سیمان

درصد تشکیل دهنده	ترکیبات شیمیایی	درصد تشکیل دهنده	ترکیبات شیمیایی
۰/۴۵	Na ₂ O	۲۰/۹۶	SiO ₂
۰/۵۵	K ₂ O	۵/۷۸	Al ₂ O ₃
۱/۶۰	Loss	۳/۱۲	Fe ₂ O ₃
۹۹/۹۰	Total	۶۲/۷۲	CaO
۰/۴۴	Insol Rez	۲/۴۲	MgO
۱/۲	Free CaO	۲/۳۰	SO ₃
ترکیبات کلینکر بر اساس بوگ ^۱			
CaSO ₄	۲/۷۹	۴۶/۱۱	C ₃ S
MgO	-----	۲۵/۳۸	C ₂ S
Total	۹۳/۶۷	۹/۹۱	C ₃ A
		۹/۴۸	C ₄ AF

ریزدانه بر کارایی بتن تازه، وزن مخصوص و پارامترهای مکانیکی بتن سخت شده در نسبتهای آب به سیمان متفاوت صورت گرفته است که مراحل انجام آن عبارتست از:

الف- تهیه ۷ نوع دانه بندی از مصالح سنگی با استفاده از یک نوع درشت‌دانه با دانه بندی ثابت و ۷ نوع دانه بندی ریزدانه با مدول نرمی متفاوت

ب- طراحی ۱۱ طرح اختلاط متفاوت برای هر نوع دانه بندی با استفاده از ۱۱ نسبت آب به سیمان.

ج- ساخت ۷۷ طرح اختلاط با استفاده از هفت نوع دانه بندی و ۱۱ نسبت آب به سیمان و انجام آزمایش اسلامپ.

د- ساخت ۴۶۲ نمونه مکعبی با خط‌پذیری ۳ بر اساس طرح اختلاطهای طراحی شده برای انجام آزمایش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته در سنین ۷ و ۲۸ روزه بتن.

ه- ساخت ۴۶۲ نمونه استوانه‌ای با خط‌پذیری ۳ بر اساس طرح اختلاطهای طراحی شده برای انجام آزمایش مقاومت کششی در سنین ۷ و ۲۸ روزه بتن.

و- مقایسه نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده و بررسی اثر مدول نرمی ریزدانه بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بتن ساخته شده از آن.

۱-۲- مشخصات مصالح

مصالح مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر است:

مصالح سنگی: در این تحقیق از سنگ گرانیتی با مشخصات فیزیکی و مکانیکی مندرج در جدول ۱ استفاده شده است. مصالح به صورت سنگ مادر از معدن تهیه و توسط یک دستگاه سنگ شکن آزمایشگاهی به ابعاد کوچکتر تبدیل و سپس توسط الک‌های آزمایشگاهی در اندازه‌های مختلف دانه‌بندی شده است. همچنین کلیه مصالح سنگی قبل از استفاده در مخلوط بتن کاملاً شسته و در حالت S.S.D (حالت اشباع با سطح خشک) بوده است.

۲-۲- دانه بندی مصالح سنگی

به منظور دستیابی به دانه بندی با مدول نرمی ریزدانه مورد نظر، ابتدا مصالح خرد شده را با استفاده از یک دستگاه لرزاننده و الکهای ۳/۸، ۱/۴، ۴، ۸، ۱۶، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ به سایزهای مختلف تقسیم و سپس با توجه به دانه بندی مورد نظر، درصد وزنی مشخصی از هر سایز انتخاب و با هم ترکیب شده است. برای تولید دانه‌بندی ریزدانه با مدول نرمی متفاوت، ۷ مدول نرمی در محدوده توصیه شده در آیین نامه ACI 211-4R، انتخاب و دانه بندی هر یک بر اساس مدول نرمی منتخب، طراحی شده است. مدولهای نرمی منتخب عبارتند از ۲/۶۶، ۲/۷۶، ۲/۸۶، ۲/۹۶، ۳/۰۶، ۳/۱۶، ۳/۲۶ و نمودار دانه‌بندی هر یک از دانه‌بندی‌های طراحی شده بر اساس مدول نرمی انتخابی، مطابق با شکل (۱) می‌باشد.

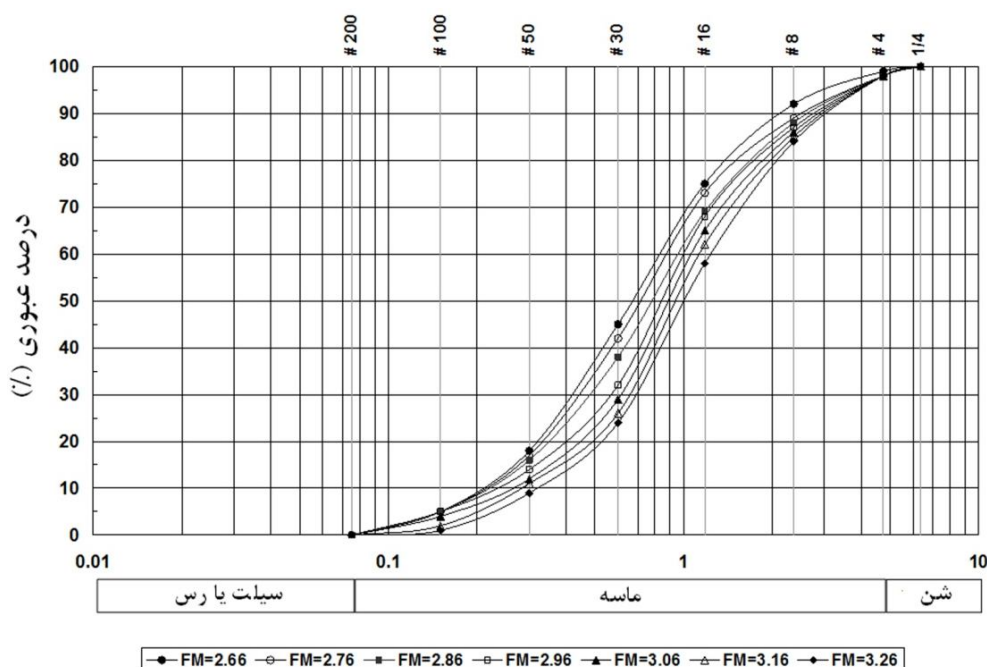
همچنین دانه بندی مورد استفاده برای درشت‌دانه در تمامی انواع دانه بندی، ثابت و در محدوده مجاز استاندارد ASTM C33 و طبق جدول (۶) می‌باشد [۱۳، ۱۴ و ۱۵].

میکروسلیس: میکروسلیس مورد استفاده محصول شرکت ازنا با چگالی ۲/۱۱ و درصد خلوص ۹۹٪ بوده که پارامترهای شیمیایی آن مطابق با جدول ۵ می‌باشد.

جدول (۵) مشخصات شیمیایی میکروسلیس

درصد تشکیل دهنده	ترکیبات شیمیایی	درصد تشکیل دهنده	ترکیبات شیمیایی
۰/۸۰	H ₂ O	۰/۹۷	MgO
۰/۵۰	SiC	۰/۳۱	Na ₂ O
۰/۳۰	C	۱/۰۱	K ₂ O
۹۶/۴-۹۴/۶	SiO ₂	۰/۱۶	P ₂ O ₅
۰/۸۷	Fe ₂ O ₃	۰/۱۰	SO ₃
۱/۳۲	Al ₂ O ₃	۱/۰۴	Cl
۰/۴۹	CaO	۶۶	Color

فوق روان کننده: فوق روان کننده ملامین فرمالدئید سولفونات، محصول شرکت شیمی رزین منطبق با استاندارد ASTM C494-Type F



شکل (۱) منحنی دانه بندی مصالح سنگی ریزدانه با مدول نرمی متفاوت

۲-۴- نحوه ساخت و انجام آزمایش بر روی طرحهای اختلاط طراح شده

به منظور ساخت مخلوطهایی با شرایط یکسان، تمامی اجزاء بتن با دقت ۰/۱ گرم توزین و با یک میکسر آزمایشگاهی کاملاً مخلوط شده‌اند. ترتیب اختلاط به این صورت بوده است که ابتدا آب، فوق روان کننده و مواد سیمانی با هم ترکیب و سپس مصالح سنگی به خمیر سیمان اضافه و تا رسیدن به میزان یکنواختی مناسب مخلوط می‌گردند.

آزمایش اسلامپ:

آزمایشهای اسلامپ انجام شده مبتنی بر استاندارد ASTM C143-90 و با خطاپذیری ۳ برای هر طرح اختلاط می‌باشد. در این روش مخلوط بتن آماده شده درون یک مخروط ناقص فلزی به قطر راس ۱۰۲ میلی‌متر، قطر کف ۲۰۳ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۵ میلی‌متر در سه لایه ریخته و هر لایه به وسیله ۲۵ ضربه میله‌ای با قطر ۱۶ میلی‌متر متراکم می‌گردد. پس از صاف نمودن سطح بتن متراکم شده در قالب توسط یک خط‌کش فلزی، قالب به آرامی بالا کشیده شده و میزان افت ارتفاع مخروط بتنی به عنوان اسلامپ طرح اختلاط مورد نظر در نظر گرفته می‌شود.

آزمایش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته:

آزمایشهای مقاومت فشاری انجام شده مبتنی بر استاندارد BS 1881: Part 108: 1983 و با خطاپذیری ۳ برای هر طرح اختلاط می‌باشد. در این روش مخلوط بتن آماده شده درون قالب‌های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ در دو لایه ریخته و هر لایه با ۲۵ ضربه میله‌ای با سطح مقطع ۲۵ میلی‌متر مربع متراکم می‌شود. پس از طی مدت زمان ۱۶-۲۸ ساعت، نمونه‌ها از قالب خارج و در یک حوضچه آب در دمای 20 ± 5 تا زمان انجام آزمایش نگهداری می‌شوند. نمونه‌ها در سنین ۷ و ۲۸ روز از

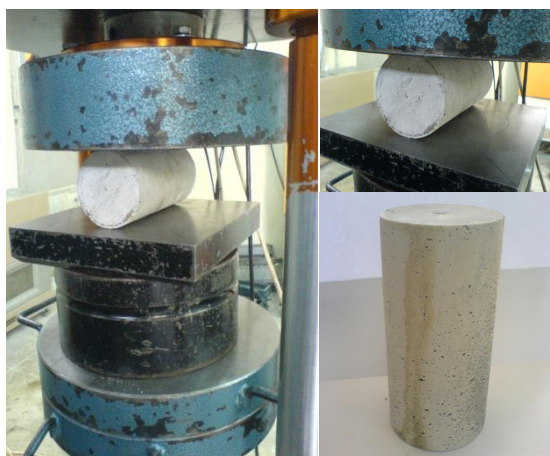
جدول (۶) دانه بندی مصالح سنگی درشت‌دانه

درصد مانده (%)	درصد عبوری (%)	اندازه الک (mm)	شماره الک
۰/۰	۱۰۰/۰	۹/۵۲۵	۳/۸"
۶۰/۰	۴۰/۰	۶/۳۵	۱/۴"
۳۰/۰	۱۰/۰	۴/۷۵	۴
۱۰/۰	۰/۰	۲/۳۶	۸

۲-۳- طرح اختلاط

طرح اختلاطهای ارائه شده در این قسمت مبتنی بر روش حجمی و براساس توصیه های ارائه شده در ACI 211 می‌باشد. با توجه به آیین نامه ACI 211-4R که مقدار حجم ظاهری درشت دانه را تا ۱/۵ برابر حجم ظاهری درشت دانه توصیه شده در آیین نامه ACI 211.1-85 توصیه کرده، در این پروژه مقدار حجم ظاهری درشت دانه، ۱/۴ برابر حجم ظاهری توصیه شده در آیین نامه ACI 211.1-85 در نظر گرفته شده است. در طرح اختلاطهای موجود با توجه به مدول نرمی ریزدانه مورد استفاده (۲/۸۶، ۲/۷۶، ۲/۶۶)، ۳/۰۶، ۳/۱۶ و ۳/۲۶، مقدار حجم درشت دانه به ترتیب ۲/۹۶، ۰/۰، ۶۴/۶۵، ۶۲/۶۳، ۶۱/۰، ۶۰/۰ و ۵۹/۰ و مقدار حجم هوای موجود در مخلوط ۰/۰۲ حجم کل بتن در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است که عیار مواد سیمانی در تمامی طرحهای اختلاط ثابت و برابر ۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده و نسبت وزنی ۱۰ درصد میکروسیلیس جایگزین همان نسبت از وزن سیمان شده است. همچنین میزان مصرف فوق روان کننده ۲ درصد وزن مواد سیمانی می‌باشد. در انتها با داشتن نسبت حجمی تمامی اجزاء، میزان حجم ریزدانه محاسبه و با دانستن وزن واحد حجم آنها، وزن مورد نیاز هر جزء برای ساخت ۱ متر مکعب بتن محاسبه شده است [۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷].



شکل (۳) آزمایش مقاومت کششی

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده در دو گروه اصلی به شرح زیر ارائه شده است:

الف- تأثیر مدول نرمی ریزدانه در نسبتهای آب به سیمان متفاوت بر پارامترهای مکانیکی بتن.

ب- تأثیر مدول نرمی ریزدانه در نسبتهای آب به سیمان متفاوت بر پارامترهای فیزیکی بتن

حال با تکیه بر سه دانسته اصلی ذیل به ارائه و تفسیر نتایج بدست آمده می‌پردازیم.

۱- ثابت بودن دانه بندی درشت دانه در تمامی طرحهای اختلاط.

۲- توزیع ذرات مصالح سنگی در ابعاد بزرگتر به واسطه افزایش مدول نرمی که منجر به کاهش انسجام ساختار مصالح سنگی می‌شود.

۳- کاهش مقاومت خمیر سیمان به واسطه افزایش خلل و فرج ناشی از وجود آب مازاد بر هیدراتاسیون سیمان در قبال افزایش نسبت آب به سیمان

۳-۱- نتایج آزمایشات پارامترهای مکانیکی بتن

به منظور بررسی تأثیر توأمان مدول نرمی ریزدانه و

آب خارج و در شرایط مرطوب به واسطه یک جک هیدرولیکی ۲۰۰ تن با نرخ تنش ۰/۴ - ۰/۲ مگاپاسکال در ثانیه تا زمان شکست بارگذاری و میزان کرنش بوجود آمده در آن به وسیله یک گیج قائم اندازه‌گیری شده است (شکل ۲).



شکل (۲) آزمایش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته

آزمایش مقاومت کششی:

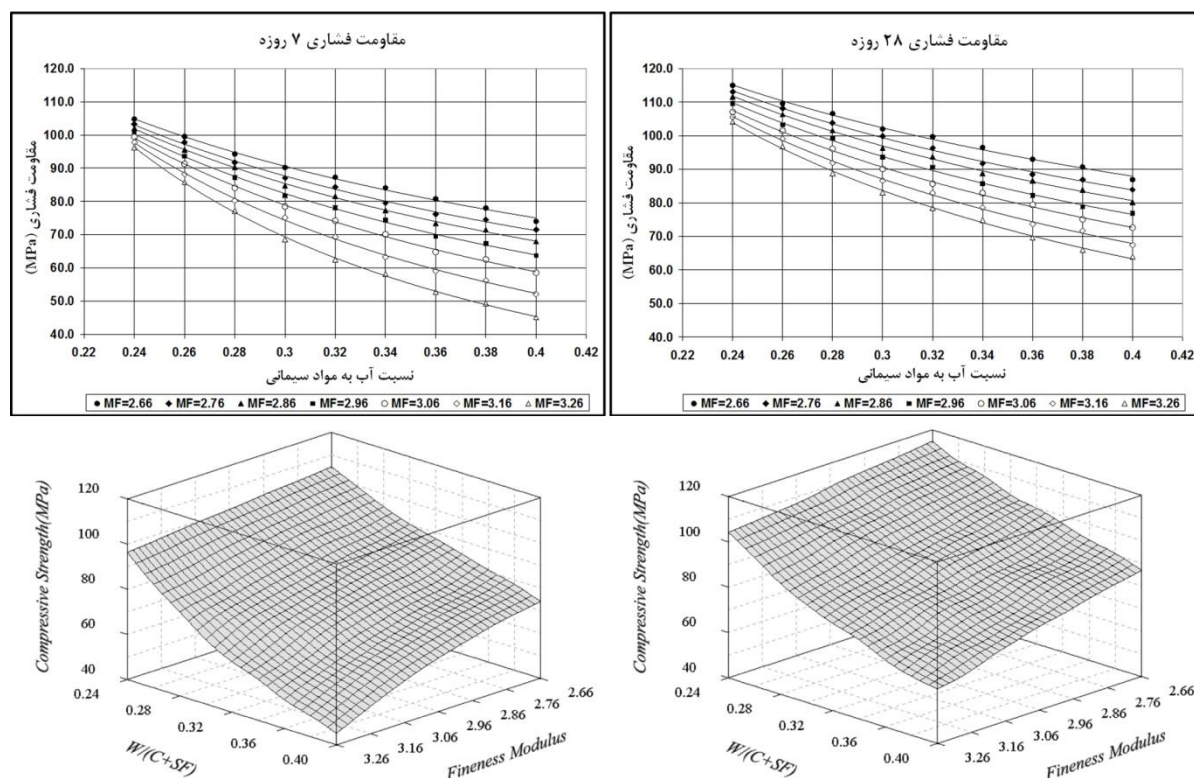
آزمایشهای مقاومت کششی انجام شده مبتنی بر استاندارد ASTM C496-90 و با خطایذیری ۳ برای هر طرح اختلاط می‌باشد. در این روش مخلوط بتن آماده شده درون قالب های استوانه‌ای به قطر ۷/۵ و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر در سه لایه ریخته و هر لایه با ۲۵ ضربه میله‌ای با سطح مقطع ۲۵ میلیمتر مربع متراکم می‌شود. پس از طی مدت زمان ۱۶-۲۸ ساعت، نمونه‌ها از قالب خارج و در یک حوضچه آب در دمای 20 ± 5 تا زمان انجام آزمایش نگهداری می‌شوند. نمونه‌ها در سنین ۷ و ۲۸ روز از آب خارج و در شرایط مرطوب به واسطه یک جک هیدرولیکی ۲۰۰ تن با نرخ تنش ۰/۴ - ۰/۰۲ مگاپاسکال در ثانیه تا زمان شکست بارگذاری می‌شوند (شکل ۳).

فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتنهای ساخته شده با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان متفاوت در شکل ۴ نشان داده شده است.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که کاهش مدول نرمی ریزدانه در تمامی نسبتهای آب به سیمان، افزایش مقاومت فشاری بتن را به همراه دارد. عامل این افزایش را می‌توان در کاهش ابعاد مصالح ریزدانه به ازاء کاهش مدول نرمی دانست. بعبارتی وجود مصالح سنگی کافی با ابعاد کوچکتر در ساختار دانه بندی با مدول نرمی پایین‌تر سبب پر شدن منافذ بوجود آمده بین ذرات درشت دانه و کاهش تمرکز تنش مابین این ذرات می‌شود که در نتیجه این امر افزایش مقاومت ساختار مصالح سنگی و نهایتاً بتن را به همراه دارد.

نسبت وزنی آب به سیمان بر پارامترهای مکانیکی بتن از تیپ دانه بندی مصالح سنگی با مدول نرمی متفاوت استفاده شده است. بدین صورت که برای هر دانه بندی با مدول نرمی مشخص ۱۱ نسبت آب به سیمان مختلف در نظر گرفته شده و بتنهای ساخته شده با شرایط مذکور در سنین ۷ و ۲۸ روزه تحت آزمایشات مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده بر روی هر یک از پارامترهای مکانیکی بتن در قالب هفت گروه اصلی نشان داده شده است. هر گروه شامل نتایج آزمایشات انجام شده بر روی بتنهایی متشکل از یک نوع دانه بندی با مدول نرمی ریزدانه مشخص و ۱۱ نسبت آب به سیمان متفاوت می‌باشد.

مقاومت فشاری: نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت



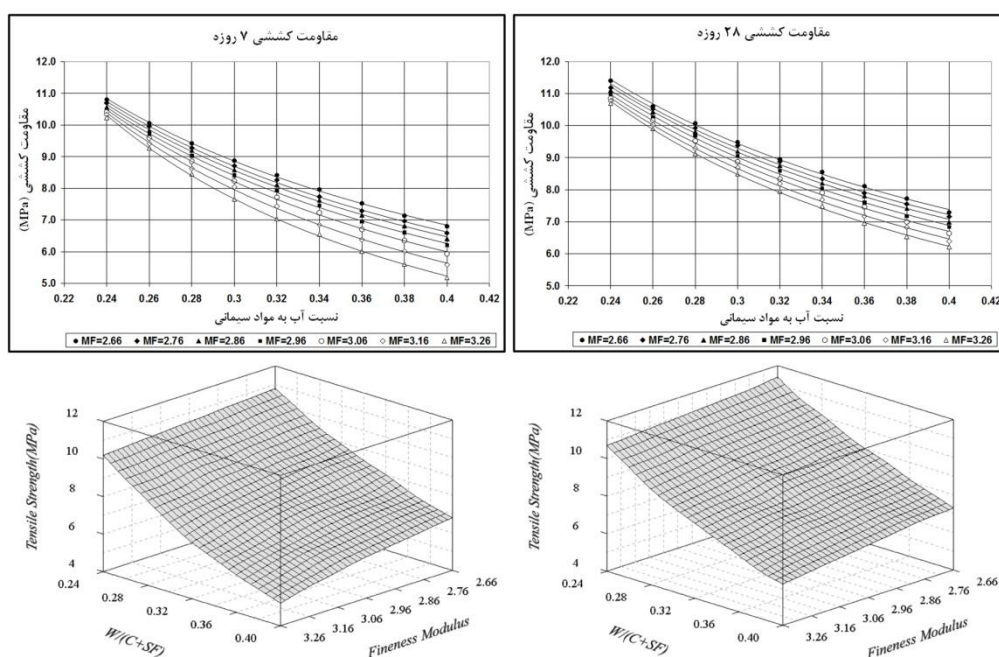
شکل (۴) نتایج آزمایشات مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان مختلف

روژه به چشم می‌خورد. از آنجایی که با افزایش مدول نرمی ریزدانه ملات سیمان سهم بیشتری از تأمین مقاومت بتن را به خود اختصاص می‌دهد و با توجه به تضعیف مقاومت بتن در سنین پایین به علت عدم اکتساب مقاومت کافی توسط خمیر سیمان، لذا عامل اصلی و تأثیر گذار بر مقاومت بتن در سنین اولیه، مقاومت خمیر سیمان است. از این رو میزان تغییرات مقاومت بتن به واسطه تغییرات مقاومت خمیر سیمان در این بازه زمانی مشهودتر است. بنابراین با توجه به تأثیر مستقیم تغییرات نسبت آب به سیمان بر مقاومت خمیر سیمان، می‌توان گفت میزان تأثیر پذیری مقاومت بتن از تغییرات نسبت آب به سیمان در سنین ابتدایی، محسوس‌تر می‌باشد.

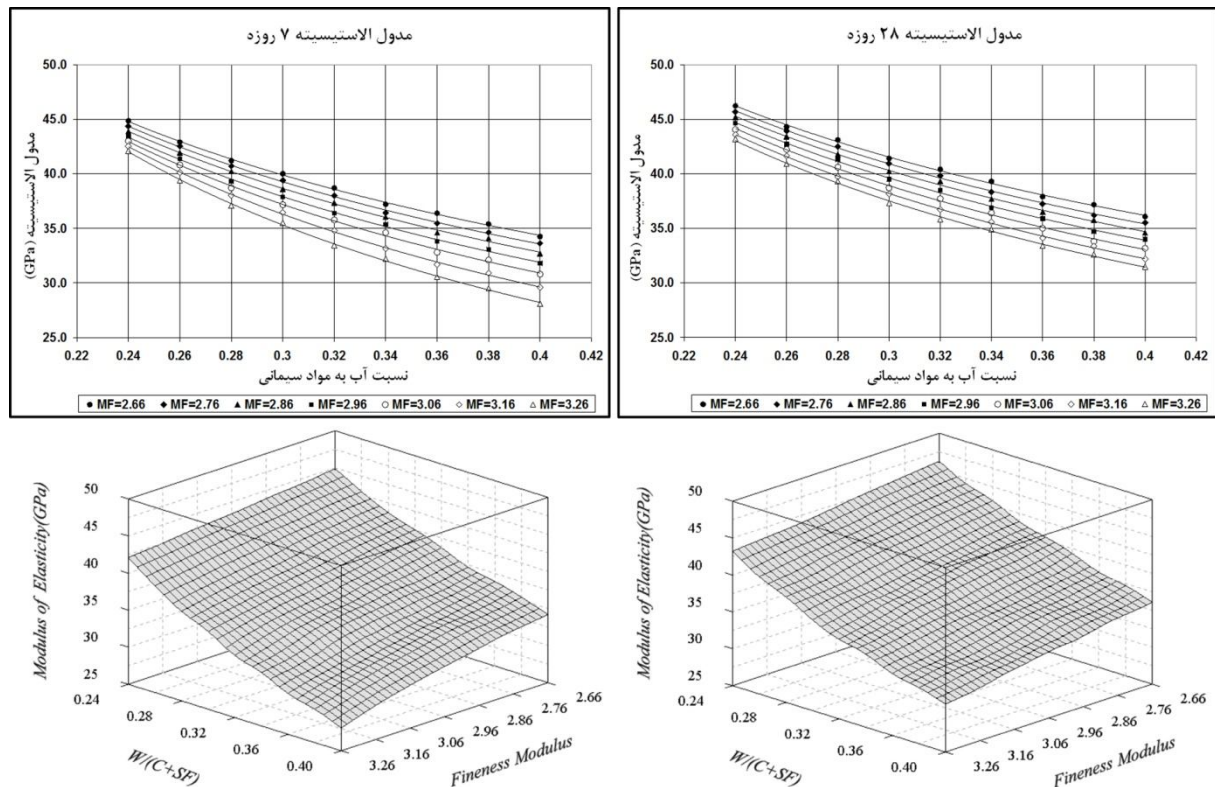
مدول الاستیسیته و مقاومت کششی: نتایج حاصل از آزمایشات مدول الاستیسیته و مقاومت کششی ۷ و ۲۸ روزه بتن‌های ساخته شده با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان متفاوت به ترتیب در اشکال ۵ و ۶ نشان داده شده است.

همچنین مشاهده می‌شود که نرخ کاهش مقاومت فشاری به واسطه افزایش مدول نرمی ریزدانه با افزایش نسبت آب به سیمان، افزایش می‌یابد. علت این افزایش نرخ را می‌توان در تضعیف انسجام ساختار مصالح سنگی در مدول نرمی ریزدانه بالاتر دانست. در واقع کاهش مقاومت و ظرفیت باربری ساختار مصالح سنگی به واسطه تضعیف انسجام و قفل و بست مصالح در یکدیگر که در مدول نرمی بالاتر اتفاق می‌افتد، سبب افزایش نیاز بتن به یک ماده چسباننده به منظور افزایش انسجام توده بتن می‌شود. در نتیجه ملات سیمان سهم بیشتری از تأمین مقاومت بتن را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین با افزایش مدول نرمی ریزدانه عامل تعیین کننده در مقاومت توده بتن، مقاومت خمیر سیمان می‌باشد. از این رو کاهش مقاومت ملات سیمان به واسطه افزایش نسبت آب به سیمان در دانه‌بندی با مدول نرمی پایین‌تر، تضعیف بیشتری از مقاومت بتن را سبب می‌شود.

لازم به ذکر است که میزان افت مقاومت فشاری به ازاء افزایش مدول نرمی ریزدانه در بتن ۷ روزه بیشتر از بتن ۲۸



شکل (۵) نتایج آزمایشات مقاومت کششی ۷ و ۲۸ روزه بتن با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان مختلف



شکل (۶) نتایج آزمایشات مدول الاستیسیته ۷ و ۲۸ روزه بتن با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان مختلف

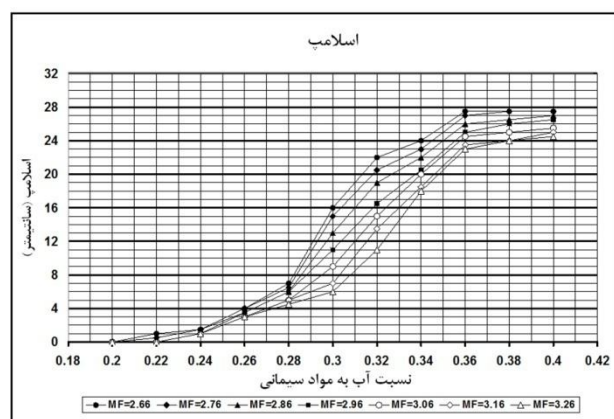
دانه بندی مصالح سنگی با مدول نرمی متفاوت استفاده شده است. بدین صورت که برای هر دانه بندی با مدول نرمی مشخص ۱۱ نسبت آب به سیمان مختلف در نظر گرفته شده و وزن مخصوص و اسلامپ بتن‌های ساخته شده با شرایط مذکور تعیین شده است. نتایج حاصل از آزمایشات اسلامپ و وزن مخصوص بتن در قالب هفت گروه اصلی نشان داده شده است. هر گروه شامل نتایج آزمایشات انجام شده بر روی بتنهایی متشکل از یک نوع دانه بندی با مدول نرمی ریزدانه مشخص و ۱۱ نسبت آب به سیمان متفاوت می‌باشد.

اسلامپ: نتایج حاصل از انجام آزمایش اسلامپ بر روی بتنهای ساخته شده با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان متفاوت در شکل ۷ نشان داده شده است.

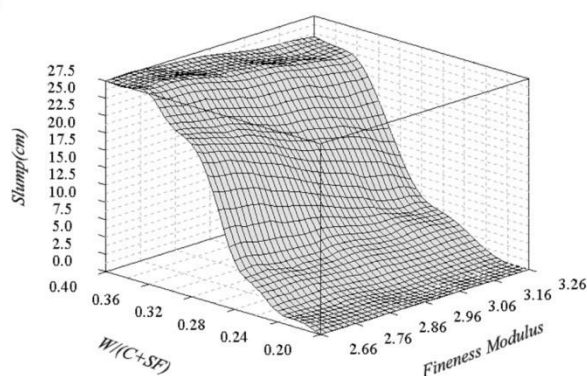
نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روند تغییرات مدول الاستیسیته و مقاومت کششی در تمامی مدول نرمی ریزدانه و نسبتهای آب به سیمان کاملاً مشابه با روند تغییرات مقاومت فشاری می‌باشد تنها با این تفاوت که میزان تأثیر پذیری مقاومت کششی و مدول الاستیسیته از تغییرات مدول نرمی ریزدانه در تمامی مقادیر نسبت آب به سیمان، به مراتب کمتر از میزان تأثیر پذیری مقاومت فشاری از تغییرات مدول نرمی ریزدانه در تمامی حالات مذکور می‌باشد.

۲-۳- نتایج آزمایشات پارامترهای فیزیکی بتن

به منظور بررسی تأثیر توأمان مدول نرمی ریزدانه و نسبت وزنی آب به سیمان بر پارامترهای فیزیکی بتن از ۷ تیپ



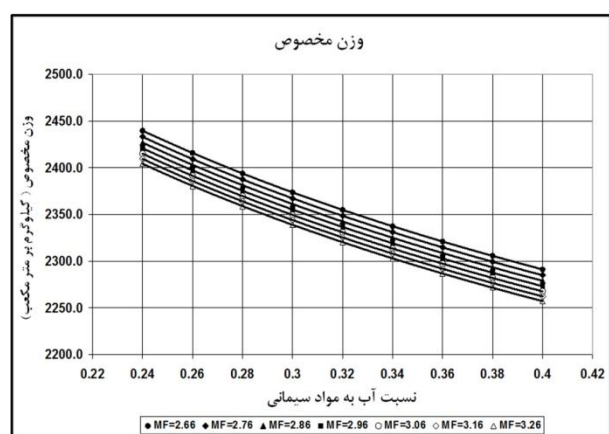
شکل (۷) نتایج آزمایشات اسلامپ بتن با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان مختلف



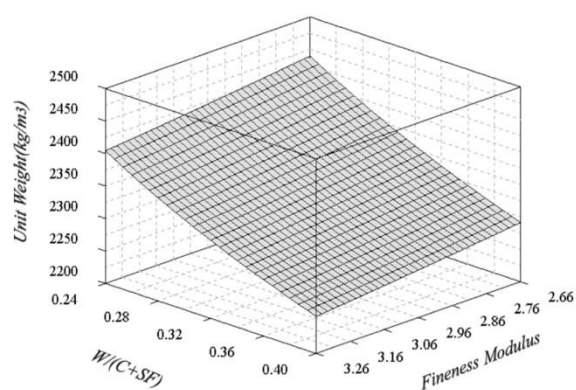
ابعاد مصالح ریزدانه به ازاء کاهش مدول نرمی دانست بدین گونه که وجود مصالح سنگی با ابعاد کوچکتر در ساختار دانه بندی با مدول نرمی پایین تر سبب شده است تا شرایط مناسب تری برای جابجایی ذرات بزرگتر در مخلوط بتن تازه فراهم آید که این امر افزایش نرخ اسلامپ را در مقابل کاهش میزان مدول نرمی به همراه داشته است.

وزن مخصوص: نتایج حاصل از تعیین وزن مخصوص بتنهای ساخته شده با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان متفاوت در شکل ۸ نشان داده شده است.

بررسی نتایج آزمایشات اسلامپ نشان می دهد که افزایش مدول نرمی ریزدانه در تمامی نسبتهای آب به سیمان، اُفت اسلامپ بتن را به همراه داشته است به گونه ای که نرخ افزایش اُفت اسلامپ با افزایش نسبت آب به سیمان نیز افزایش یافته است. لازم به ذکر است که افزایش نرخ اُفت اسلامپ در نسبتهای آب به سیمان ۰/۲۶ تا ۰/۳۲ کاملاً مشهود می باشد و از آنجا که صحت نتایج آزمایش اسلامپ برای اعداد بیشتر از ۲۰ سانتیمتر رسمیت ندارد لذا میزان افزایش نرخ اُفت اسلامپ در نسبتهای آب به سیمان بیش از ۰/۳۲ مشهود نمی باشد). عامل افزایش اسلامپ را می توان در کاهش



شکل (۸) نتایج آزمایشات وزن مخصوص بتن با مدول نرمی ریزدانه و نسبت آب به سیمان مختلف



نرخ افزایش افت اسلامپ با افزایش نسبت آب به سیمان نیز افزایش می‌یابد.

۶- کاهش مدول نرمی ریزدانه در تمامی نسبتهای آب به سیمان، افزایش وزن مخصوص بتن را به همراه دارد به گونه‌ای که میزان نرخ این افزایش در تمای نسبت آب به سیمان ثابت است [۱۱].

۵- مراجع

- [1] Perry C, Gillott JE. The Influence of Silica Fume on the Strength of the Cement-Aggregate Bond. ACI Materials Journal, V. 156, September 1995, pp. 191-212.
- [2] Neville AM. Aggregate Bond and Modulus of Elasticity of Concrete. ACI Materials Journal, V. 94, No. 1, January-February 1997, pp. 71-74.
- [3] Tasdemir C, Tasdemir MA, Mills N, Barr IG, Lydon FD. Combined Effects of Silica Fume, Aggregate Type, and Size on Post-Peak Response of Concrete in Compression. ACI Materials Journal, V. 96, January 1999, pp. 74-83.
- [4] Aitcin PC, Metha PK. Effect of Coarse - Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. ACI-Mater-j- 1990; V.87; NO.2: 103-107.
- [5] Wu KR, Chen B, Yao W, Zhang D. Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete. Cement and Concrete Research 31 (2001) 1421-1425
- [6] Wu KR, Chen B, Yao W, Zhang D. Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete. Cement and Concrete Research 31 (2001) 1421-1425
- [7] Poon CS, Lam CS. The effect of aggregate-to-cement ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks. Cement & Concrete Composites 30 (2008) 283-289
- [8] Mass GR. Aggregate Particle Shape Considerations. ACI Materials Journal, V. 5, August 1983, pp. 23-29.
- [9] Donza H, Cabrera O, Irassar EF. High-strength concrete with different fine aggregate. Cement and Concrete Research 32 (2002) 1755-1761

بررسی وزن مخصوص بتن‌های طراحی شده با مدول نرمی ریزدانه متفاوت نشان می‌دهد که کاهش مدول نرمی ریزدانه در تمامی نسبتهای آب به سیمان، افزایش وزن مخصوص بتن را به همراه داشته است به گونه‌ای که میزان نرخ این افزایش در تمامی نسبت آب به سیمان ثابت بوده است. عامل افزایش وزن مخصوص بتن را می‌توان در کاهش ابعاد مصالح ریزدانه به ازاء کاهش مدول نرمی دانست به گونه‌ای که وجود مصالح سنگی کافی با ابعاد کوچکتر سبب پر شدن منافذ بوجود آمده بین ذرات درشت دانه می‌شود که این امر افزایش تراکم و انسجام ساختار مصالح سنگی و نهایتاً افزایش وزن مخصوص بتن را به همراه دارد.

۴- نتیجه‌گیری

با مطالعه و بررسی بر روی نتایج بدست آمده می‌توان گفت:

- ۱- کاهش مدول نرمی ریزدانه در تمامی نسبتهای آب به سیمان، افزایش مقاومت فشاری بتن را به همراه دارد.
- ۲- نرخ کاهش مقاومت فشاری به واسطه افزایش مدول نرمی ریزدانه با افزایش نسبت آب به سیمان، افزایش می‌یابد.
- ۳- میزان افت مقاومت فشاری به ازاء افزایش مدول نرمی ریزدانه در بتن ۷ روزه بیشتر از بتن ۲۸ روزه به چشم می‌خورد.
- ۴- میزان تأثیر پذیری مقاومت کششی و مدول الاستیسیته از تغییرات مدول نرمی ریزدانه در تمامی مقادیر نسبت آب به سیمان، به مراتب کمتر از میزان تأثیر پذیری مقاومت فشاری از تغییرات مدول نرمی ریزدانه در تمامی حالات مذکور می‌باشد.
- ۵- افزایش مدول نرمی ریزدانه در تمامی نسبتهای آب به سیمان، افت اسلامپ بتن را به همراه دارد به گونه‌ای که

- [15] Larrard F, Belloc A. The Influence of Aggregate on the Compressive Strength of Normal and High-Strength Concrete. *ACI Materials Journal*, V. 94, No. 5, September-October 1999, pp. 417-426.
- [16] Lessard M, Chaallal O, Action PC. Testing of High-Strength Concrete Compressive Strength. *ACI Materials Journal*, V. 90, No. 4, July-August 1993, p.303-308.
- [17] Khayat KH, Bickley JA, Hooton RD. High-Strength Concrete Properties Derived From Compressive Strength Values. *Cement, Concrete, and Aggregates, CCAGDP*, V.17, No.2, Dec. 1995, pp. 126-133.
- [10] Kennedy HL. Revised Application Of Fineness Modulus In Concrete Proportioning. *ACI Materials Journal*, V. 36, June 1940, pp. 597-614.
- [۱۱] مجید یزداندوست، طرح و ساخت بتن پلیمری جهت استفاده به صورت شاتکریت با هدف تأمین پوشش نگهداری دائمی تونلها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس، سال ۱۳۸۵
- [12] Nevil AM, Brooks JJ. *Concrete Technology*. Longman Science & Technical, 1987.
- [13] Okamura, Hajime. Self-Compacting High-Performance Concrete. *Concrete International Journal*, July 1997, pp. 50-54.
- [14] ACI Committee 212. *Admixtures for concrete*. *Concrete. Int.*, Vol. 3, No. 5, pp. 24-52, 1981.

Experimental Study on the Effect of Aggregate Fineness Modulus on Physical and Mechanical Properties of Concrete

M. Yazdandoust¹, M. Yazdani^{2*}

1- PH.d student in Geotechnical Engineering, Faculty of Engineering; Tarbiat Modarres University

2- Assistant Professor, Faculty of Engineering; Tarbiat Modarres University

mahyaz@gmail.com

Abstract:

Concrete is one of moderately new materials, which is used widely because of its appropriate properties. Many Scientifics and researchers have tried to develop and utilize the beneficial properties of this new material and as a result its ingredients have been investigated extensively. Concrete properties are dependent on many parameters such as ingredients, production and technology, construction methods and curing conditions that have made concrete a complex and unpredictable material. But these are virtually ignorable against its precious advantageous and precise studies on above parameters may help us to produce concretes with desirable properties.

As it was discussed previously, ingredients are of those important parameters that play an essential role. Therefore investigating ingredients, their interactions and effects of their properties on properties of concrete are seriously important. Of the most important of concrete ingredients are aggregates, which are usually deemed unimportant despite their momentous contribution to concrete production. As about three forth of concrete's volume is its aggregates, studying aggregates' properties including the effect of grain size distribution on physical and mechanical properties of concrete is pivotal, although few comprehensive and acceptable investigations have been carried so far. Shape, particle size distribution, dimensions, surface characteristics, and minerals are parameters which are effective in making a homogenous and united medium. In fact there are various parameters (criteria) which determine an ideal material. In this study, the effect of fineness module of fines aggregate on mechanical and physical parameters of concrete has been investigated among other parameters. Fineness module is defined as total accumulated percentage of remained material on standard sieves in fines range.

In this study and in respect to above factors, in order to study the effect of fineness modulus of aggregates on physical and mechanical properties of concrete, using 7 different grain size distributions with various fineness modulus and 11 cement-water ratios, totally 77 different mix designs were tested for slump test.

Also 462 samples were prepared using those various mix designs and were tested at 7 and 28-day life long under compressive loads. The obtained results suggest clearly the direct effect of fineness modulus of aggregates on mechanical and physical properties of concrete. In details, the decrease in fineness modulus from 3.26 to 2.66 has caused an increase in slump values and compressive strengths.

The rise in compressive strength can be addressed to more unity for aggregates with smaller fineness modulus. Furthermore, the existence of smaller aggregates (smaller fineness modulus) has led to more comfortable conditions for larger grains to travel. This in turn incited the slump values' boost while fineness modulus decreased. As a result it can be concluded that the grain size distribution can play a crucial role in dominating physical and mechanical properties of concrete.

Keywords: Fineness modulus, Grain size distribution, Slump, concrete