



تأثیر بزرگترین اندازه سنگدانه در خواص مهندسی بتن با مقاومت بالا

جواد برنجیان استادیار دانشگاه

مرتضی حسینی بیگی استادیار دانشگاه

دانشکده فنی مهندسی دانشگاه مازندران

چکیده:

از آنجا که حد اقل سه چهارم حجم بتن را سنگدانه ها تشکیل می دهد جای تعجب نیست که کیفیت این مواد از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار باشد. نه فقط ممکن است سنگدانه ها مقاومت بتن ساخته شده با آنها را محدود نماید بلکه خواص سنگدانه ها نیز به میزان چشم گیری بر عملکرد ساختمانی بتن تأثیر خواهد گذاشت.

برای افزایش سطح مخصوص مصالح سنگی جهت افزایش باند بین ماتریس ژل سیمان و مصالح سنگی؛ بزرگترین اندازه سنگدانه در دانه بندی باید کاهش یابد.

نظر به کاهش نسبت آب به سیمان؛ و افزایش سطح مخصوص مصالح سنگی و نیز استفاده از میکروسیلیس که دارای سطح مخصوص بسیار بالا می باشد؛ از فوق روان کننده جهت کاهش آب به سیمان به عنوان فاکتور اصلی استفاده گردید.

در این تحقیق سعی شد تأثیر اندازه های مختلف بزرگترین اندازه سنگدانه (۹/۶؛ ۱۲/۵ و ۱۹) میلیمتر در طرح اختلاط بتن مورد استفاده قرار گرفته و تأثیر آنها در خواص مهندسی بتن مورد بررسی قرار گیرد.

آزمایشات مختلف روی بتن؛ نشان می دهد که بتن معمولی (بدون استفاده از میکروسیلیس) در مقایسه با بتن با مقاومت بالا (با استفاده از میکروسیلیس)؛ بتن هایی که دارای بزرگترین اندازه سنگدانه ۹/۶ میلیمتر می باشند دارای مقاومت بیشتری نسبت به بتنهایی که دارای بزرگترین اندازه ۱۲/۵ و ۱۹ میلیمتر می باشند.

مقدمه:

بتن محصولی است شبیه به سنگ که با انتخاب مناسب از سیمان؛ مصالح سنگی؛ افزودنیها و نیز انتخاب نسبتهای مختلف از مصالح تشکیل دهنده آن؛ طیف وسیعی از مقاومتهای مختلف بتن بدست می آید.

امروزه با استفاده از مواد افزودنی همچون روان کننده ها؛ پوزولانها میتوان انواع بتن با مقاومتهای مختلف را در یک مدت زمان مشخص بدست آورد. چون یکی از مشخصه های مهم بتن؛ مقاومت فشاری آن میباشد؛ لذا این پارامتر؛ جهت وجه متمایز بتنهای مورد استفاده قرار میگیرد [۱].

با پیشرفت در ساخت و سازهای بزرگ و پیچیده و ساختمانهای بلند مرتبه؛ پلهای با دهانه بزرگ؛ سدهای عظیم؛ ابعاد قطعات بکاررفته؛ بسیار بزرگ طراحی میشود؛ به همین منظور استفاده از بتنی با مقاومت بالاتر از حد معمول؛ که بتوان ابعاد قطعات را کوچک کرد؛ الزامی بنظر میرسد.

به علت جوان بودن این علم و کم بودن منابع اطلاعاتی؛ جهت آگاهی از چگونگی ساخت و تهیه این نوع بتن بخصوص در کشور ما؛ میران کاربرد آن بسیار محدود میباشد. به همین دلیل زمینه بسیار مناسبی جهت تحقیق و آشنا نمودن متخصصین از این فرآورده جدید وجود دارد.

لذا این مقاله در همین راستا برای آشنایی از چگونگی ساخت بتن با مقاومت بالا با استفاده از مصالح موجود در منطقه مازندران و همچنین تأثیر بزرگترین اندازه سنگدانه بر مقاومت بتن انجام گرفت.

جزئیات آزمایش

انتخاب مصالح

مصالح سنگی :

در جدول زیر مشخصات فیزیکی معادنی که از آنها نمونه برداری شده و مقاومت فشاری توده ای آن مشخص گردیده آمده است (جدول ۱).

ردیف	معمول	وزن نمونه به گرم	وزن ره شده از الک شماره 4	وزن مانده روی الک شماره 80	نسبت ۱۰۰۰ وزن کل به وزن مانده	مقاومت فشاری MPa
۱	آهکی نوع	3000gr	973gr	515	17.2	40
۲	آهکی نوع	3000	700	364	12.13	60
۳	آهکی نوع	3000	962	517	17.3	40
۴	معدن گچی افروز	3000	446	236	7.9	100
۵	شرکت لیل ماسه	3000	705	346	11.5	60
۶	شرکت سارچ	3000	447	216	7.2	100
۷	شرکت تعاونی مصری شن و ماسه	3000	679	270	9	80
۸	شرکت شن و ماسه لیل کلر	3000	588	277	9.2	80

جدول (۱) بررسی مقاومت فشاری سنگ‌های معادن مختلف در منطقه بابل حاذق هراز

در مقایسه مصالح انتخابی با دانه بندی پیشنهاد شده [۲] هیچکدام از نمونه های انتخابی در محدوده منحنی دانه بندی قرار نگرفت و الزام می بایست مصالح سنگی بصورت جداگانه تفکیک شده و بر اساس دانه بندی مورد نظر طبقه بندی گردد. برای مقایسه و بررسی عملکرد هر یک از نمونه های مصالح سنگی ؛ کلیه شرایط را ثابت نگاه داشته و نمونه های بتنی بصورت آزمایشی ساخته شد. ذیلا مشخصات طرح اختلاط بتن آزمایشی ارائه شده است (جدول ۲).

C	SF	PZ	W	G _{4/16"}	S	PZ C+SF	W C+SF	مقدار
500	75	14.38	138	1026	683	2.5	0.24	Kg/m ³

C= Cement

SF= Silicafume

PZ= Super Plasticizer

W= Water

S= Sand

G= Gravel

(جدول ۲)

از هر کدام از نمونه ها سه نمونه مکعبی ۱۵×۱۵ سانتی متر بتن ساخته شد و مورد آزمایش ۲۸ روزه قرار گرفت. اساس آب مورد نیاز ؛ اسلامپ ۳۰ تا ۵۰ میلی متر در نظر گرفته شد .

در بررسی نتایج بدست آمده با توجه به مقاومت فشاری توده ای مصالح سنگی؛ در حالی که مصالح سنگی حاصله از معدن گنج افروز؛ مقاومت فشاری بیشتر را دارا بود (100Mpa) و در نهایت مقاومت بدست آمده از مصالح سنگی تعاونی شن و ماسه آمل؛ نسبت به معادن دیگر بیشتر بوده و بنظر می رسد دلیل این امر با مشاهده و بررسی شکل ظاهری؛ بافت سطحی؛ وزن مخصوص؛ و ... ملاحظه گردید که مصالح سنگی معدن تعاونی شن و ماسه آمل بعلاوه تیز گوشه بودن؛ زبری سطح؛ که باعث درگیری بیشتر بین زل سیمان و سنگدانه و همچنین اسطکاک بین سنگدانه ها و نیز وزن مخصوص بالای بتن بدست آمده که نشانه تراکم بیشتر است مقاومت بالائی را تولید نمود و بهمین دلیل این معدن برای ادامه تحقیق و بررسی بزرگترین اندازه سنگدانه در مقاومت بتن انتخاب گردید

سیمان انتخابی :

همانگونه که ذکر شد به دلیل تصمیم به استفاده از مصالح موجود در منطقه مارندران؛ از سیمان تولید کارخانه نکا سیمان نوع یک که بیشتر در دسترس استفاده کنندگان در استان است؛ استفاده گردید که ذیلا مشخصات شیمیائی؛ فیزیکی و مکانیکی آن مشخص شده است (جداول ۳ و ۴).

(جدول ۳)

ترکیب شیمیایی	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	Cl	Loss	Total g
مقدار موجود (گرم)	248	35	06	3426	162	-	812	-	43.1	100.33

آزمایش خواص فیزیکی و شیمیایی در آزمایشگاه کارخانه سیمان نکا انجام شد.

(جدول ۴)

مشخصات فیزیکی سیمان	مقدار موجود
سطح در واحد وزن	۳۰۶ m ² /kg
زمان نهایی نفست	۱۷۵ دقیقه
زمان نهایی گهرش	۲۳۰ دقیقه
مقاومت سه روزه	۱۷۴ Kg/cm ²
مقاومت ۷ روزه	۲۱۴ Kg/cm ²
مقاومت ۲۸ روزه	۲۴۱ Kg/cm ²

انتخاب مواد افزودنی:

در این تحقیق از فوق روان کننده (Sikament 163) محصول شرکت وند شیمی و نیز میکروسیلیس؛ تولید شده در کارخانه فروسیلیس سمنان استفاده گردید .

بزرگترین اندازه دانه های سنگی :

از انجائیکه بخش اصلی این پروژه تحقیقاتی تاثیر بزرگترین اندازه مصالح سنگی در بتن با مقاومت بالا میباشد بهمین منظور سه اندازه مختلف (۹/۶؛ ۱۲/۵ و ۱۹) میلیمتر برای این موضوع و نیز تاثیر آن در مقاومت بتن انتخاب گردید . ذیلا مشخصات طرح اختلاط بتن با بزرگترین اندازه دانه های سنگی ذکر شده که در جداول (۵؛ ۶ و ۷) ارائه شده است .

(جدول ۵) انتخاب مصالح

MIX	C Kg	PZ Kg	SF Kg	W Kg	G1/2" Kg	S Kg	FE C/SF	W C/SF	SF C	Slump Cm
با میکروسیلیس	500	14.38	75	138	1026	683	2.5%	0.24	15%	3-5
بدون میکروسیلیس	500	14.38	-	154	1026	683	2.5%	0.31	-	3-5

(جدول ۶) انتخاب مصالح

MIX	C Kg	PZ Kg	SF Kg	W Kg	G1/2" Kg	S Kg	FE % C/SF	W C/SF	SF % C	Slump Cm
با میکروسیلیس	500	14.38	75	146	1097	672	2.5%	0.25	15%	3-5
بدون میکروسیلیس	500	14.38	-	166	1097	672	2.5%	0.33	-	3-5

(جدول ۷) انتخاب مصالح

MIX	C Kg	PZ Kg	SF Kg	W Kg	G1/2" Kg	S Kg	FE C/SF	W C/SF	SF C	Slump Cm
با میکروسیلیس	500	14.38	75	143	1190	530	2.9%	0.25	15%	3-5
بدون میکروسیلیس	500	14.38	-	154	1190	530	2.9%	31	-	3-5

علامت اختصاری سنگدانه درشت که اندیس ϕ بزرگترین اندازه آن را نشان می دهد: G_3

علامت اختصاری سنگدانه ریز: S_0

آزمایشات:

آزمایش مقاومت فشاری [۳]، کشش غیر مستقیم [۴] و مدول الاستیسیته استاتیکی [۵] جهت مقایسه و تاثیر بزرگترین اندازه سنگدانه در آنها صورت گرفت. آزمایشات اشاره شده در زمانهای سه؛ هفت؛ بیست و هشت و نود روزه انجام گرفت.

نتایج آزمایشات:

ار کل ۱۴۴ نمونه بتونی مکعبی $10 \times 10 \times 10$ و استوانهای 15×30 ؛ ۷۲ نمونه تحت آزمایش فشاری و ۷۲ نمونه تحت آزمایش مدول الاستیسیته استاتیکی و سپس تحت آزمایش مقاومت کشش غیر مستقیم قرار گرفت و نتایج بدست آمده در نمودارهای (۱ و ۲) و جداول (۸؛ ۹ و ۱۰) ارائه شده است.

(جدول ۸) مدول الاستیسیته بزرگترین سنگدانه $3/8$ اینچی (۹/۵ میلیمتر)

نمونه	۳روزه Kg/cm^2	۷روزه Kg/cm^2	۲۸روزه Kg/cm^2	۹۰روزه Kg/cm^2
M SL	2.24×10^5	2.37×10^5	2.45×10^5	2.68×10^5
بدون MS	1.95×10^5	1.97×10^5	2.1×10^5	2.2×10^5
درصد رشد	%14.9	%20.3	%16.67	%21.82

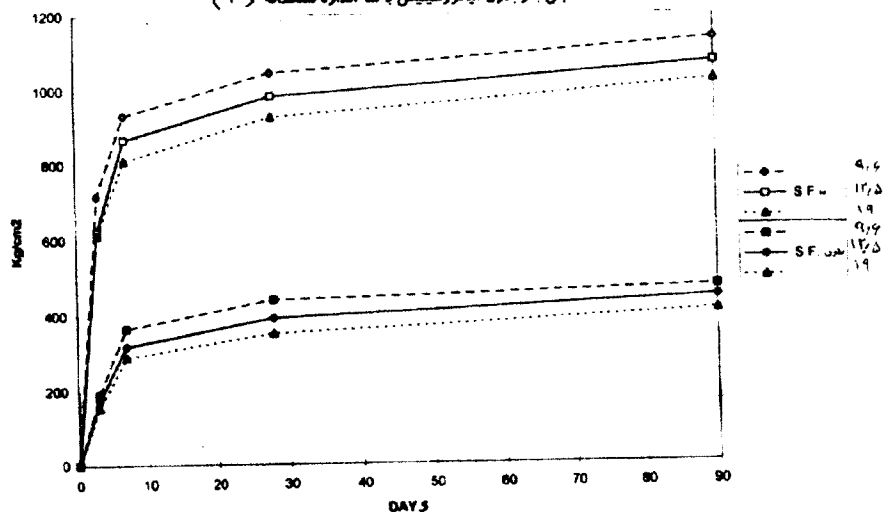
(جدول ۹) مدول الاستیسیته بزرگترین سنگدانه $1/2$ اینچی (۱۲/۵ میلیمتر)

نمونه	۳روزه Kg/cm^2	۷روزه Kg/cm^2	۲۸روزه Kg/cm^2	۹۰روزه Kg/cm^2
M SL	2.2×10^5	2.23×10^5	2.23×10^5	2.46×10^5
بدون MS	1.9×10^5	1.92×10^5	2×10^5	2.1×10^5
درصد رشد	%15.39	%16.14	%16.5	%18.57

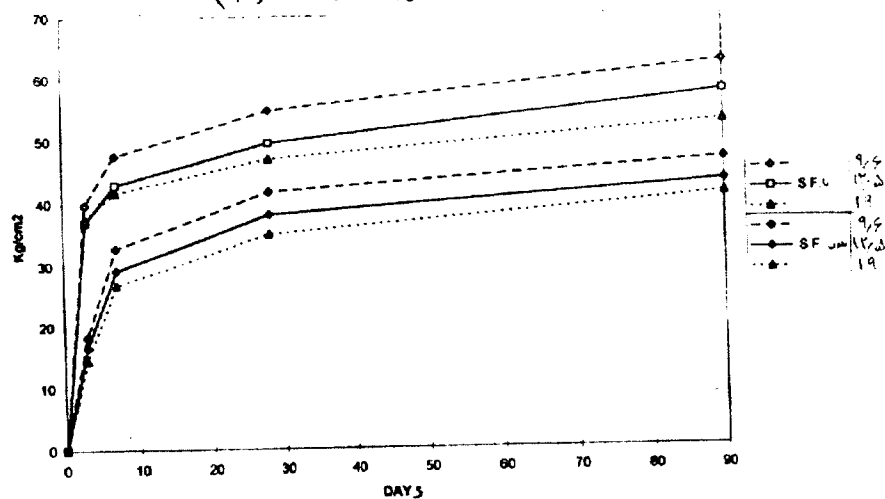
(جدول ۱) - مدول الاستیسیته پاننگانه درشت 3/4 اینچی (۱۹ میلیتر)

نمونه	روز ۳ Kg/cm^2	روز ۷ Kg/cm^2	روز ۲۸ Kg/cm^2	روز ۹۰ Kg/cm^2
پا M.S	2.18×10^5	2.25×10^5	2.25×10^5	2.34×10^5
بدون M.S	1.95×10^5	1.9×10^5	2.0×10^5	2.1×10^5
درصد رشد	%11.79	%18.42	%12.5	%11.42

منحنی های مقایسه ای مقاومت فشاری
بتن با و بدون میکروسیلیس با سه اندازه سنگدانه (۱)



منحنی های مقایسه ای مقاومت کششی
بتن با و بدون میکروسیلیس با سه اندازه سنگدانه (۲)



مقاومت فشاری:

از نتایج بدست آمده در آزمایشات فشاری تک محوری روی نمونه های مختلف با دانه بندی بزرگترین اندازه سنگدانه (۹/۶) و ۱۲/۵ (۱۹ میلیمتر) ملاحظه میشود که بتن ساخته شده با بزرگترین اندازه سنگدانه (۹/۶ میلیمتر) بالا ترین مقاومت فشاری را دارا میباشد. و این مقاومت نسبت به بتنهای ساخته شده با دانه بندی با بزرگترین اندازه سنگدانه ۱۲/۵ میلیمتری و ۱۹ میلیمتری بترتیب ۶/۳ و ۱۲/۷ درصد رشد نشان میدهد.

در بررسی دیگر بتن بدون میکرو سیلیس و بتن با میکروسیلیس (با کلیه شرایط یکسان) تفاوت فاحشی در مقاومتهای حاصله ملاحظه میگردد. یعنی مقاومت فشاری رشدی حدود ۱/۴ برابر که اهمیت بکارگیری این ماده در تهیه بتن با مقاومت بالا را نشان میدهد. همچنین مشاهده میگردد که بتنهای بدون میکروسیلیس این تفاوت؛ مشابه با بتنهای با میکروسیلیس کاملاً احساس میگردد.

مقاومت کششی:

با دقت در نمودار مربوطه نکته قابل توجه این است که مقاومت کششی غیر مستقیم نیز همانند مقاومت فشاری رشدی حدود ۱۰ درصد برخوردار است و در مقایسه؛ بتن بدون میکروسیلیس این رشد حدود ۳۰ درصد میباشد. به تعبیر دیگر نسبت مقاومت کششی به فشاری در بتنهای با مقاومت بالا کاهش میباشد.

مدول الاستیسیته استاتیکی:

طبق نتایج بدست آمده از آزمایشات؛ این پارامتر نیز حدود ۵ تا ۱۰ درصد افزایش برای بزرگترین اندازه ۹/۶ میلیمتر نسبت به دو اندازه ۱۲/۵ و ۱۹ میلیمتر را دارد و در مقایسه با بتن بدون میکروسیلیس رشد ۱۵ درصدی را ملاحظه میکنیم که گویای ترد و شکننده تر بودن این نوع بتن میباشد که باید در طراحی مد نظر قرار گیرد.

روابط پیشنهادی بین مقاومت های فشاری و کششی بتن با مقاومت بالا

روابط پیشنهادی ACI بیشتر در محدوده مقاومت 21 Mpa تا 83 Mpa میباشد با بررسی آزمایشهای انجام شده و محدوده مقاومت فشاری که از آزمایشات بدست آمده؛ مشاهده میگردد که هرچه مقاومت فشاری افزایش مییابد از ضریب رابطه کاسته میگردد. رابطه ACI بصورت زیر است.

$$f'_{sp} = 0.63 \quad f'_c \quad 21 \text{ Mpa} < f'_c < 83 \text{ Mpa}$$
 با در نظر گرفتن آزمایشهای انجام شده و محدوده مقاومت فشاری؛ ضریب مربوطه برای سنگدانه ۹/۶ برابر ۰/۴۹. محاسبه میگردد. و مقدار میانگین را میتوان ۵۱٪ در نظر گرفت.

$$f'_{sp} = 0.51 \quad f'_c \quad 60 \text{ Mpa} < f'_c < 110 \text{ Mpa}$$

تحلیل نتایج بدست آمده و نتیجه گیری:

با توجه به آزمایشهای انجام شده و در مقایسه با نمودارها ملاحظه میگردد که مقاومتها در تمامی موارد در بتنی که دارای بزرگترین اندازه آن در محدوده ۹/۶ میلیمتر است از همه بیشتر است توجه این امر را میتوان بصورت زیر عنوان نمود.

۱- به دلیل ریزتر شدن بزرگترین اندازه سنگدانه؛ میزان سطح مخصوص بیشتر شده و عامل تمرکز تنش که منجر به شکست سنگدانه و در نهایت ترک در بتن میگردد؛ کمتر شده و مقاومت بتن بالا میرود.

۲- با ریزتر شدن بزرگترین اندازه سنگدانه؛ مقدار باند (سطح چسبندگی) بین ژل سیمان و سنگدانه در واحد حجم بیشتر گردیده و سهم تحمل نیرو بوسیله سیمان هیدراته شده بیشتر میشود که در نهایت تاثیر مثبت در مقاومت بتن دارد.

۳- به دلیل وجود میکروسیلیس در بتن؛ اکثر خلل و فرج؛ بین سنگدانه ها و سیمان هیدراته شده؛ پر شده و جسم همگن و یکپارچه ای ایجاد میشود که در اثر افزایش سطح تماس؛ میزان تنش کمتر شده و مقاومت بالا میرود.

۴- احتمال وجود ترکهای ریز (ناشی از تولید سنگدانه در ماشینهای سنگ شکن) که مقاومت بتن را کم میکنند؛ در سنگدانه های کوچکتر کمتر است.

لازم به ذکر است که کوچک کردن ماکزیمم اندازه سنگدانه در دانه بندی نیز محدود میباشد. یعنی نمیتوان استدلال نمود که هرچه مصالح درشت دانه (شن) کوچکتر باشد مقاومت بالاتر میرود. برای توجه به این موضوع میتوان چنین بیان نمود که با کوچک شدن مصالح درشت دانه ۰ برای مرطوب شدن سطح دانه ها با توجه به افزایش سطح مخصوص میزان نسبت آب به سیمان بسیار افزایش یافته که تاثیر منفی این افزایش با تاثیر نسبت ریزتر شدن درشت دانه ها از اندازه ۹/۶ میلیمتر غلبه نموده و مقاومت بتن کاهش مییابد.

برای تائید مراتب بالا و تاکید در بر استفاده از دانه بندی در محدوده ۹/۶ میلیمتر برای رسیدن به مقاومت بالاتر به مراجع معرفی شده ذیل رجوع نمود؛ که تقریباً پیشنهاد آنها مغایرت چندانی با نتایج بدست آمده ندارد.

۱) کمیته ACI 363 که بطور مفصل در این مورد توضیح داده و بهترین اندازه ماکزیمم سنگدانه را برای بتن با مقاومت بالا ۰ حد فاصل ۹/۶ تا ۱۲/۵ میلیمتر توصیه مینماید [۶].

۲) آقایان W.S. Yin و C.M. Su کلیه آزمایشات خود را با دانه بندی بزرگترین اندازه سنگدانه ۹/۶ انجام داده و بهترین دانه بندی را با ماکزیمم اندازه ۹/۶ پیشنهاد مینمایند [۷].

۳) آقایان P.N. Balaguru و A.S. Ezeldin مناسبترین اندازه برای بزرگترین اندازه در دانه بندی سنگدانه را ما بین ۹/۶ تا ۱۲/۵ میلیمتر معرفی مینمایند. و آزمایشهایی که برای بتن با الیاف در بتن با مقاومت بالا و بتن معمولی انجام داده اند با این اندازه سنگدانه بوده است [۸].

مراجع:

- 1- Neville, A.M. Properties of concrete, third edition, 1981.
- 2- Road Research, Design of concrete mixes, D.S.I.R. Road note, No.4. (London, H.M.S.O.).
- 3-B.S. 1881: Part 116/83. Method for determination of the compressive strength of concrete cubes.
- 4- B.S. 1881: Part 117/83. Method for determination of the tensile splitting strength.
- 5- B.S. 1881: Part 121/83. Method for determination of static modulus of elasticity in compression.
- 6- State-of-the-Art Report on High Strength concrete, Reported by ACI Committee 363 Guly - August 1984.
- 7- W.S. Yin, C.M. Su, Biaxial tests of plain and fiber concrete, ACI Materials Journal, May - June 1989.
- 8- A.S Ezeldin and P.N. Balaguru, Bond Behavior of normal and high strength fiber reinforced concrete, ACI Materials Journal / September-October 1989.