

## بررسی تاثیر شکل سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن

محسن تدین<sup>۱</sup>، پارسا مهاجری<sup>۲</sup>، محمدرضا شهبانیان<sup>۳</sup>

۱- رئیس انجمن بتن ایران، عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- دانشجوی مهندسی عمران دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

[Parsa\\_841311@yahoo.com](mailto:Parsa_841311@yahoo.com)

۳- دانشجوی مهندسی عمران دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

[Mohamadreza.shabanian@yahoo.com](mailto:Mohamadreza.shabanian@yahoo.com)

### خلاصه

شکل و نحوه توزیع سنگدانه ی مورد استفاده در بتن تاثیر بسزائی در خواص مکانیکی آن خواهد داشت. در تحقیق حاضر مقاومت فشاری بتن های ساخته شده با سنگدانه هایی که دارای شکل های متفاوت هستند مورد آزمایش قرار گرفته و تاثیر این پارامتر بر مقاومت فشاری بتن بررسی شده است. نتایج آزمایش ها حاکی از آن می باشد که شکل سنگدانه ها باعث افزایش یا کاهش مقاومت فشاری بتن می شود. در این پژوهش آزمایشگاهی سعی شد تا تاثیر شکل سنگدانه بر مقاومت فشاری و اسلامپ بتن مورد بررسی قرارگردد. جهت بررسی این عوامل با استفاده از دستگاه سنگ شکن و به کارگیری تدابیری سنگدانه هایی گرد گوشه و تیز گوشه فراهم شد و در ۲ طرح اختلاط متفاوت ۲۴ نمونه مکعبی ساخته شد. پس از بررسی و تحلیل داده ها اثر شکل سنگدانه ها در مقاومت فشاری بتن و اسلامپ آن تعیین و با دانسته های موجود مقایسه گردید.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری، شکل سنگدانه، بتن

### مقدمه

امروزه بتن به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، آسانی دسترسی به اجزا تشکیل دهنده، شکل پذیری و پایداری نسبتا بالای این مخلوط باعث توجه روز افزون به آن شده است. این نیاز و کاربرد گسترده بتن لزوم بررسی رفتار و عوامل موثر بر رفتار آن را آشکار می سازد. در تولید بتن به منظور برآورد ملزومات کارآیی و مقاومت باید دقت بیشتری در انتخاب مصالح آن صورت گیرد. در این میان سنگدانه ها به عنوان یکی از عناصر اصلی تشکیل دهنده بتن که قسمت اعظم آن را تشکیل می دهد تاثیر بسزایی در خصوصیات مقاومتی و مکانیکی آن دارند. در این پژوهش نمونه هایی بتنی با شن و ماسه گرد گوشه، شن و ماسه شکسته و ماسه گرد گوشه در دو طرح اختلاط مختلف ساخته شد و با اندازه گیری مقاومت فشاری آزمونه های بتنی ساخته شده اثر این خصوصیات سنگدانه ها بر مقاومت فشاری بتن و اسلامپ آن بررسی شد.

## ۱. سنگدانه ها در بتن

دانه های سنگی به دو دسته دانه های درشت یا شن و دانه های ریز یا ماسه تقسیم می شوند. مصالح سنگی در مجموع حدود ۲/۳ تا ۳/۴ حجم بتن را اشغال می کنند. ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل دانه ها شن و ۳۰ الی ۴۰ درصد دانه ها را ماسه تشکیل می دهد. از این رو کیفیت آن ها از اهمیت خاصی برخوردار است. سنگدانه ها نه تنها در مقاومت بتن موثرند؛ بلکه دوام و پایداری بتن نیز تا حد زیادی تحت تاثیر این ماده قرار می گیرد. ابتدا تصور می شود سنگدانه ها موادی بی تاثیر و غیر قابل انبساط می باشند که در خمیری از سیمان پخش می شوند و حجم بزرگی از بتن را پدید می آورند اما درحقیقت سنگدانه ها بی اثر نیستند و خواص فیزیکی حرارتی و پاره ای اوقات شیمیایی آنها در عملکرد بتن تاثیرمیکند {1}

## ۲. خصوصیات سنگدانه ها

### ۱.۲. شکل سنگدانه ها

سنگدانه ها بسته به ماهیت جنس سنگ مادر و روش شکسته شدن یا فرسایش می توانند شکلی گرد گوشه، تیز گوشه و یا نامنظم داشته باشند {۳}. سنگدانه های تیز گوشه و آنهایی که سطوحی ناصاف و متخلخل دارند، نسبت به سنگدانه های گرد گوشه به آب بیشتری نیاز دارند. برخی از دانه های مناسب ممکن است بدلیل خواص دانه بندی نامناسب یا وجود مقدار زیادی ذرات مسطح و کشیده، آب بیشتری نیاز داشته باشند. در چنین مواردی برای استفاده از این سنگدانه ها می توان

برای جلوگیری از افزایش بیش از حد نسبت آب به سیمان و کاهش مقاومت، عیار سیمان را افزایش داد {۴}.

مشخصات ظاهری خارجی سنگ ها به خصوص شکل آنها در رابطه با خواص بتن تازه و سخت شده اهمیت زیادی دارد و وصف جسم سه بعدی و شکل آن ها کمی دشوار است و آسان تر است که مشخصات هندسی معینی برای آن ها تعریف شود. گرد گوشه بودن واقعی نتیجه مقاومت و مقاوت فرسایشی سنگ مادر و میزان سایش است که به سنگ اعمال شده است. شکل سنگدانه شکسته به طبیعت سنگ مادر و نوع سنگ شکن و نسبت کاهش آن بستگی دارد؛ که این نسبتی از اندازه اولیه به دانه های شکسته شده می باشد {۱}.

### جدول ۱. دسته بندی سنگدانه از نظر شکل {5}

نوع سنگدانه	دسته بندی	توضیح
گرد گوشه	سایش کامل توسط آب یا تغییر شکل در اثر اصطکاک	شن رودخانه ای و کنار ساحل، ماسه بادی و ساحلی
بی شکل - نامنظم	قسمتی تغییر شکل یافته در اثر سایش با لبه های گرد	بعضی شن ها یا فلینتها ی حفره دار
پولکی	سنگ هایی که ضخامت کمی نسبت به دو بعد دیگر دارند	سنگ های لایه ای یا ورقه ای
تیز گوشه	دارای لبه های مشخص در محل تقاطع	سنگ های شکسته از همه نوع در سرباره های خرد شده
طویل	نسبت به دو بعد دیگرشان زیاد است	-
پولکی و طویل	موادی که طول آنها بزرگتر از عرض و عرض آنها بزرگتر از ضخامتشان می باشد	-

لازم بذکر است که استاندارد ASTM در این خصوص معادلی ندارد.

## 2.2. حداکثر اندازه سنگدانه ها

هر چه سنگدانه ها بزرگتر باشد مساحت سطحی که باید مرطوب شود در واحد جرم کمتر می گردد بنابراین افزایش دانه بندی سنگدانه ها به یک حداکثر اندازه دانه بزرگتر سبب پایین آوردن آب لازم برای مخلوط خواهد شد. به طوری که برای یک کارایی و مقدار سیمان معین می توان نسبت آب به سیمان را پایین آورد و در نتیجه افزایش در مقاومت حاصل نمود. لازم بذکر است از آنجائیکه ذرات بزرگ سنگدانه سبب ایجاد عدم تجانس در مجموعه می گردند نامطلوب می باشند {6}. بنابراین یک نکته مثبت و یک نکته منفی دارد و باید با تجربه کردن مشخص نمود که کدام یک بر دیگری غلبه دارد.

## ۳. مروری بر سوابق

در یک سری از تحقیقات نشان داده شده است که از نظر مقاومت نهایی بتن، اصولاً بتنی که با سنگ دانه های شکسته ساخته می شود به دلیل امکان درگیر شدن بهتر دانه ها با یکدیگر و برقراری اصطکاک بیشتر بین آن ها مقاوم تر خواهد بود به همین دلیل توصیه می شود که در مواردی که مقاومت خیلی بالا مورد نظر باشد از سنگدانه های شکسته استفاده شود. همچنین سنگدانه های پولکی و کشیده، مقاومت فشاری بتن را کم می کند و این امر را می توان ناشی از اتصال ناکافی سنگدانه های پولکی با ملات سیمان، شکل نامطلوب و مقاومت کمتر آنها دانست. {۷}

## ۴. مصالح مصرفی :

با توجه به این که در این طرح نیاز به مقادیری شن و ماسه گرد گوشه و تیز گوشه بود و بنا به هدف این طرح که ثابت بودن نظام ویژگی ها از جمله جنس سنگدانه می باشد مطابق زیر عمل شد :

در ابتدای کار انباری در جنب آزمایشگاه و کارگاه انتخاب شد و دانه بندی و انبار کردن مصالح در آن مکان صورت پذیرفت. مصالح مخلوط (سنگدانه اولیه) این کارخانه رودخانه ای می باشد و از شهر جورقان همدان تهیه می شود. حسن رودخانه ای بودن مصالح این است که با استفاده از دستگاه سنگ شکن و تولید سنگ های شکسته با همان جنس مخلوط اولیه هدف یک جنس بودن مصالح در این طرح محقق می شود.

سنگ دانه های مورد نیاز عبارت اند از :

- ۱- شن بادامی گرد گوشه
- ۲- شن بادامی تیز گوشه
- ۳- نخودی گرد گوشه
- ۴- نخودی تیز گوشه
- ۵- ماسه گرد گوشه
- ۶- ماسه تیز گوشه

مخلوط اولیه به وسیله تسمه نقاله به داخل دستگاه سنگ شکن ریخته و به سه قسمت شن بادامی، شن نخودی و ماسه تقسیم می شوند. اما باید دقت داشت که تمام این سنگ ها مخلوطی از گرد گوشه و تیز گوشه می باشند در حالی که همان طور که مشاهده می شود تمام این سنگ دانه ها به تفکیک گرد گوشه و تیز گوشه بودن مورد نیاز می باشد.

در ادامه توضیح مختصری درباره نحوه جمع آوری هر یک از مصالح ارائه می شود.

۱. **شن بادامی گرد گوشه:** شن بادامی و نخودی شکسته بعد از دستگاه سنگ شکن به وسیله یک تسمه نقاله به روی سرد ریخته و با مخلوط اولیه ترکیب می شود که با خاموش شدن این تسمه نقاله خروجی های ما به طور کامل گرد گوشه خواهد بود.

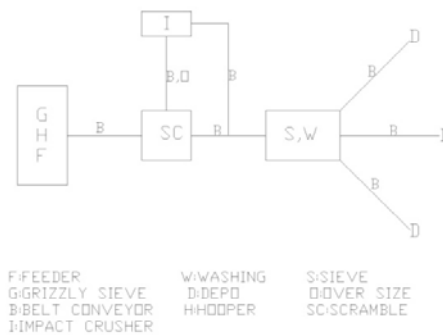
۲. شن بادامی تیز گوشه: همان طور که بیان شد دستگاه سنگ شکن تمام محصولات شکسته را با مخلوط اولیه که یک مخلوط گرد گوشه است ترکیب می کنند. پس تنها راهی که برای به دست آمدن این نوع سنگ دانه به نظر می رسد جمع آوری مخلوط شکسته از روی تسمه نقاله و بردن آنها به کنار ورودی اولیه مخلوط بود. از ورود مخلوط اولیه جلوگیری شد و به جای این مخلوط سنگ دانه های شکسته به روی تسمه نقاله ریخته شد. به این ترتیب هر سه قسمت نخودی، بادامی و ماسه سنگ دانه های شکسته را به عنوان خروجی در اختیار ما قرار دادند و بدین ترتیب مصالح شکسته جمع آوری و انبار شد.

۳. نخودی گرد گوشه مانند قسمت (۱)

۴. نخودی تیز گوشه مانند قسمت (۲)

۵. ماسه گرد گوشه مانند قسمت (۱)

۶. ماسه تیز گوشه مانند قسمت (۲)



شکل ۱. پلان سنگ شکن

## ۵. دانه بندی ثابت طرح:

با توجه به اینکه در این طرح نیاز بود که تمامی عوامل در ساخت آزمون‌ها ثابت و تنها شکل سنگدانه ها عامل متغیر باشد دانه بندی ثابتی برای شن های شکسته و گرد گوشه ارائه شد و سنگدانه های آزمون‌ها بر اساس این دانه بندی آماده سازی شدند (جدول ۲). همچنین برای حصول اطمینان از اینکه دانه بندی ماسه گرد گوشه و ماسه تیز گوشه حاصل از مجموعه یکسان است آزمایش دانه بندی برای این دو ماسه انجام شد (جدول ۳)

جدول ۲. دانه بندی ثابت طرح

شماره الک	شن بادامی (%)	شن نخودی (%)	ماسه (%)
۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹	۹۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۲.۵	۲۲	۹۷	۱۰۰
۹.۵	۱۰	۷۰	۱۰۰
۴	۰	۱	۸۵
۸	۰	۰	۶۱
۱۶	۰	۰	۴۷
۳۰	۰	۰	۳۶
۵۰	۰	۰	۲۰
۱۰۰	۰	۰	۳

جدول ۳. اطمینان از یکی بودن دانه بندی ماسه گرد گوشه و تیز گوشه {۹}

شماره الک	مقادیر مربوط به ماسه گرد گوشه	مقادیر مربوط به ماسه تیز گوشه
۴	92.4%	91.6%
۸	77.9%	77.5%
۱۶	62.4%	63.8%
۳۰	47.7%	52.4%
۵۰	26.5%	31%
۱۰۰	8.8%	9.8%
200	2.7%	3.4%

همان طور که مشاهده می شود اختلاف مقادیر زیر الک 200 دو نوع ماسه در اختیار بسیار ناچیز می باشد. لازم به ذکر است که با توجه به دوبار شور بودن شن های در اختیار مقادیری برای زیر الک 200 به دست نیامده است.

## 6. ویژگی های سنگدانه و استاندارد های انجام آزمایش ها :

آزمایش های انجام شده بر روی سنگدانه ها در این پروژه طبق استاندارد های مختلف انجام شد که نتایج آن در جدول شماره ۴ ارائه شده است . عناوین این آزمایش ها در زیر گزارش شده است:  
ظرفیت جذب آب و چگالی سنگدانه ها (ASTM C127-ASTM C128)  
آزمایش تعیین درصد دانه های پولکی و سوزنی مطابق با (BS 812)  
تعیین درصد شکستگی (مطابق با طرح مخلوط ملی و EN 933-5)

جدول ۴. نتایج کلی آزمایش ها

مشخصات نوع مصالح	چگالی SSD	ظرفیت جذب آب (%)	درصد پولکی (%)	درصد سوزنی (%)	درصد شکستگی طرح مخلوط ملی (%)	درصد شکستگی EN (%)
شن بادامی تیز گوشه	2.63	0.9	17	14	87	$C_c=16$ $C_r=4$ $C_{tc}=75$ $C_{tr}=5$
شن نخودی تیز گوشه	2.63	0.9	17	25	19	$C_{tc}=14$ $C_{r_{tr}}=35$ $C_{tc}=12$ $C_{tr}=49$
شن بادامی گرد گوشه	2.59	0.8	17	25	19	$C_{tc}=14$ $C_{r_{tr}}=35$ $C_{tc}=12$ $C_{tr}=49$
شن نخودی گرد گوشه	2.60	0.9	17	25	19	$C_{tc}=14$ $C_{r_{tr}}=35$ $C_{tc}=12$ $C_{tr}=49$
ماسه گرد گوشه	۲.۵۲	1.3	-	-	-	-
ماسه تیز گوشه	۲.۵۱	۱.۱	-	-	-	-

## ۷. طرح اختلاط

در طرح های اختلاط استفاده شده در این پروژه نسبت آب به سیمان و میزان عیار سیمان مشخص است و مقدار سنگدانه ها به صورت کاملا خشک بیان می شود بنابراین مقدار آب کل نیز به صورت مجموع آب آزاد و آب مورد نیاز سنگدانه ها برای رسیدن به حالت اشباع با سطح خشک است. البته با توجه به اینکه امکان خشک کردن ماسه به علت محدودیت های آزمایشگاهی وجود نداشت از ماسه با رطوبت معمولی خودش استفاده شد که میزان رطوبت ماسه از مقدار آب کل کم شد.

در این پروژه دو سری طرح اختلاط وجود دارد که در سری اول نسبت آب به سیمان ۰.۴۵ و عیار سیمان ۴۰۰ و سری دوم که دارای نسبت آب به سیمان ۰.۵۵، و عیار سیمان ۳۵۰ است. در هر یک از این سری طرح اختلاط ها ۳ نوع بتن ساخته شده. بنابراین شش طرح زیر حاصل می شود.

طرح ۱: شن و ماسه گرد گوشه با نسبت آب به سیمان ۰.۴۵، و عیار سیمان ۴۰۰

طرح ۲: شن و ماسه تیز گوشه با نسبت آب به سیمان ۰.۴۵، و عیار سیمان ۴۰۰

طرح ۳: شن تیز گوشه و ماسه گرد گوشه با نسبت آب به سیمان ۰.۴۵، و عیار سیمان ۴۰۰

طرح ۴: شن و ماسه گرد گوشه با نسبت آب به سیمان ۰.۵۵، و عیار سیمان ۳۵۰

طرح ۵: شن و ماسه تیز گوشه با نسبت آب به سیمان ۰.۵۵، و عیار سیمان ۳۵۰

طرح ۶: شن تیز گوشه و ماسه گرد گوشه با نسبت آب به سیمان ۰.۵۵، و عیار سیمان ۳۵۰

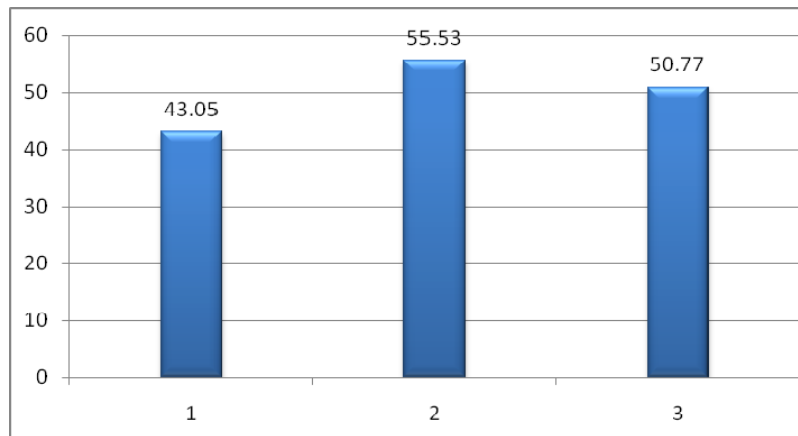
## جدول ۵. جدول اطلاعات طرح اختلاط

اسلامپ	آب کل	آب آزاد	ماسه تیز گوشه	شن نخودی تیز گوشه	شن بادامی تیز گوشه	ماسه گرد گوشه	شن نخودی گرد گوشه	شن بادامی گرد گوشه	سیمان (gr)	نسبت آب به سیمان %	
	آب مصرفی										
3	۱۹۶	۱۸۰	-	-	-	۷۶۴.۵	۵۲۶.۵	۴۳۷.۵	۴۰۰	۰.۴۵	طرح ۱
	۱۹۰										
2	۱۹۷	۱۸۰	۷۶۱	۵۳۲.۵	۴۴۳.۵	-	-	-	۴۰۰	۰.۴۵	طرح ۲
	۱۸۷										
۲.۵	۲۰۰	۱۸۰	-	532.5	۴۴۳	۷۶۱	-	-	۴۰۰	۰.۴۵	طرح ۳
	۱۹۵										
۶.۵	۲۰۸.۵	۱۹۲.۵	-	-	-	۷۶۸.۵	۵۲۹	۴۴۰	۳۵۰	۰.۵۵	طرح ۴
	۲۰۳										
۳	۲۱۰	۱۹۲.۵	۷۶۵	۵۳۵.۵	۴۴۶	-	-	-	۳۵۰	۰.۵۵	طرح ۵
	۲۰۳										
5	۲۰۹	۱۹۲.۵	-	۵۳۵.۵	۴۴۶	۷۶۸.۵	-	-	350	۰.۵۵	طرح ۶

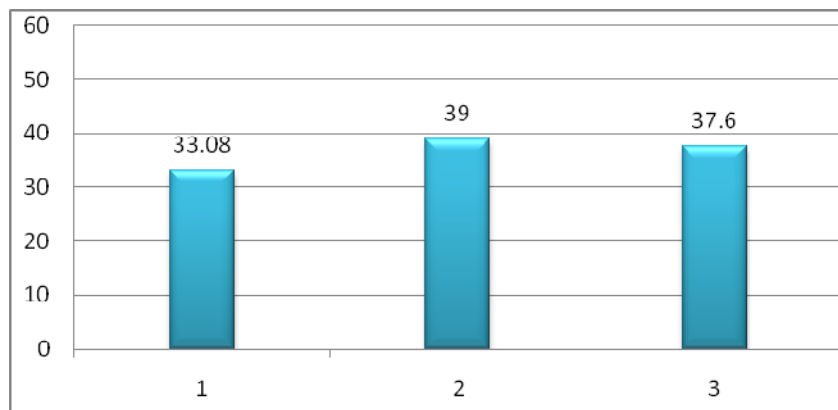
۲۰۳۵										
------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

۸. مقاومت فشاری آزمونه ها

شماره طرح	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مقاومت فشاری متوسط آزمونه ها (Mpa)	۴۳.۰۵	۵۵.۵۳	۵۰.۷۷	۳۳.۰۸	۳۹.۰۰	۳۷.۶۰



شکل ۲. مقایسه میانگین آزمونه ها (طرح او ۲ و ۳)





شکل ۳. مقایسه میانگین آزمون‌ها (طرح ۴ و ۵ و ۶)

۹. نتیجه گیری

از آنجایی که هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر شکل سنگدانه ها بر روی مقاومت فشاری بتن بود ۲ حالت برای شکل سنگدانه ها در نظر گرفته شد و سعی بر آن بود که با روش های کارگاهی ذکر شده بتوان سنگدانه هایی با شکل شکسته و گرد گوشه به دست آورد که این کار با دقت مناسبی تحقق یافت. سپس با به دست آوردن سنگدانه های گرد گوشه و شکسته ۳ حالت برای اختلاط سنگدانه ها در بتن در نظر گرفته شد. حالت اول شن و ماسه گرد گوشه و حالت دوم شن و ماسه تیز گوشه و حالت سوم شن تیز گوشه و ماسه گرد گوشه بود. همچنین در این طرح با ثابت نگاه داشتن دانه بندی و نسبت آب به سیمان سعی شد که از تاثیر این عوامل بر مقاومت فشاری بتن جلوگیری شود و تنها عامل تاثیر گذار شکل سنگدانه باشد. همانطور که از نتایج پیداست می توان مشاهده کرد که مقاومت آزمون هایی که با شن و ماسه شکسته ساخته شده از دیگر آزمون ها و به خصوص آزمون هایی که با شن و ماسه گرد گوشه ساخته شده بیشتر است و مقاومت نمونه هایی که با شن شکسته و ماسه گرد گوشه ساخته شده کمتر از آزمون هایی است که با شن و ماسه شکسته ساخته شده است اما بسیار به آن نزدیک است و این نکات گواهی بر آن می دهد که :

۱. مقاومت بتن با شکل سنگدانه های مصرفی رابطه مستقیم دارد و هر چه سنگدانه های درشت مصرفی در طرح مخلوط شکسته تر باشند به دلیل درگیر شدن بهتر دانه ها با یکدیگر و برقراری اصطکاک بهتر مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد.
۲. با توجه به نتایج مقاومت فشاری ارائه شده مشاهده می شود که تاثیر شکسته بودن مصالح ریزدانه کمتر از مصالح درشت دانه است. به طور کلی شکل و بافت سطحی سنگدانه ها تاثیر عمده ای بر میزان آب لازم یک مخلوط دارد. به عبارت دقیق تر هنگامی که تداخل و فضای خالی بین دانه های متراکم شده بیشتر است آب زیاد تری نیز مورد نیاز می باشد. به طور کلی پولکی بودن و شکل شکل درشت دانه ها اثر قابل ملاحظه ای بر روی کارایی بتن دارد. با افزایش عدد تیز گوشه بودن سنگدانه ها روانی بتن تقلیل می یابد. {۱}
- دانه های پولکی و سوزنی در سنگدانه های ریز و درشت می تواند به کاهش کارایی بتن تازه منجر شود. همچنین این دانه ها در بتن سخت شده می توانند باعث کاهش مقاومت شوند. {۱}

**References:**

- {1} Neville , Adam M
- {2} Nawy , EG ., "Fundamentals of High-performance concrete , "second Edition , John Wiley & Sons , 2001 , pp.123-136.
- {3} ACI ncommittee 221 , "Guide for use of normal weight and heavy weight aggregates in concrete,"2001.
- {5} BS 812
- {6} Bloem,D.L, "Effect of Maximum Size of Aggregate on Strength of Concrete,"National sand and Gravel Association,Circular No , 74 , Washington DC, Feb.1959.

{7} تکنولوژی و طرح اختلاط بتن، دکتر داوود مستوفی نژاد

انتشارات ارکان ، چاپ ۱۴، سال ۱۳۸۰

{8} ابوذر صدر کریمی، کسبگین خواهشی بناب، انتخاب شکل، جنس و دانه بندی بهینه ی مصالح سنگی برای بتن توانمند- اولین کنگره ملی

مهندسی عمران-دانشگاه صنعتی شریف ۱۱۶۷-۸۳

{9} ASTM C33

-American society for testing and materials(ASTM).

-Europe Norm (EN)

-British Standard(BS)