



**مهندس حسین صادقی**  
تولیدکننده شن و ماسه و بتن آماده

سنگ‌دانه‌ها با اشغال حدود سه چهارم حجم بتن، موادی نسبتاً ارزان‌اند و با آب واکنش‌های شیمیایی پیچیده‌ای برقرار نمی‌سازند، بنابراین مرسوم آن بوده که سنگ‌دانه‌ها به‌عنوان پرکننده خنثی در بتن تلقی گردند. با این وجود با افزایش آگاهی در مورد نقش‌های سنگ‌دانه‌ها در تعیین خواص مهم از جمله مقاومت، پایداری، ابعاد و دوام بتن بازی می‌کنند، نگاه پیشین به سنگ‌دانه‌ها، به‌عنوان پرکننده خنثی به‌طور جدی زیر سؤال قرار می‌گیرد.



مشخصاتی از سنگ‌دانه‌ها که در فناوری بتن معمولی تراکم‌پذیر اهمیت دارند عبارت‌اند از: تخلخل، دانه‌بندی یا توزیع اندازه، جذب رطوبت، شکل بافت سطحی، مقاومت در برابر خردشدگی، مدول ارتجاعی و نوع مواد زیان‌آور. این مشخصات از ترکیب کانی سنگ مادر (که تحت تأثیر فرآیند زمین‌شناسی شکل‌گیری سنگ‌ها می‌باشد) شرایطی که سنگ قبل از تشکیل سنگ‌دانه‌ها در معرض آن قرار گرفته است و نوع عمل و دستگاهی که برای تولید سنگ‌دانه به‌کار گرفته شده است، سرچشمه می‌گیرند.

طرح مخلوط بتن فرآیند تعیین نسبت‌ها و مقادیر اجزای بتن است، به‌نحوی که بتن تولیدشده تا حد امکان مقرون‌به‌صرفه باشد و الزامات موردنیاز را تأمین کند. این الزامات معمولاً مربوط به مقاومت فشاری، کارایی و دوام بتن می‌باشد. تعیین نسبت‌ها و مقادیر اجزای بتن بیشتر براساس روابط تجربی و به میزان کمتری با استفاده از روابط ریاضی و تئوری انجام می‌شود. سازوکار طرح مخلوط بتن پیچیده است، زیرا با

تغییر دادن یک عامل ممکن است خواص بتن به‌صورت متضاد تحت تأثیر قرار گیرد. برای نمونه، افزودن آب به مخلوط بتن با کارایی کم، ممکن است روانی را افزایش دهد، اما مقاومت و دوام را کم و احتمال جداسازی و آب‌انداختگی را زیاد می‌کند. در حقیقت کارایی از دو مؤلفه اصلی تشکیل شده است که شامل روانی (جاری شدن آسان) و چسبندگی (مقاومت در برابر جداسازی) است. وقتی آب به مخلوط اضافه می‌شود ممکن است دو مشخصه، عملکردی مخالف یکدیگر از خودشان نشان دهند. بنابراین طرح مخلوط بتن، هنر متعادل کردن این تأثیرات متضاد است.



مقدار خمیر سیمان در بتن، تابع فضای خالی بین سنگ‌دانه‌ها و کل مساحت سطح جانبی سنگ‌دانه‌ها می‌باشد زیرا منافذ بین سنگ‌دانه‌ها توسط خمیر سیمان اشغال می‌گردد و سطح سنگ‌دانه‌ها باید آغشته به خمیر سیمان شود. وقتی که اندازه سنگ‌دانه‌ها تقریباً مشابه و یکسان یا نزدیک به هم باشد حجم منافذ بین سنگ‌دانه‌ها افزایش نمی‌یابد اما اگر از سنگ‌دانه‌هایی با اندازه مختلف استفاده شود، ذرات کوچک‌تر بین دانه‌های بزرگ‌تر قرار می‌گیرند و این ترتیب، منافذ کاهش می‌یابند و از مقدار خمیر سیمان موردنیاز کاسته می‌شود به‌طور نظری می‌توان برای هر حداکثر اندازه سنگ‌دانه و نیز شکل خاص ذرات آن، یک منحنی دانه‌بندی با حداقل منافذ بین ذرات را به دست آورد، اما چنین توزیعی از اندازه ذرات علیرغم بهبود مقاومت و کاهش مصرف سیمان نمی‌تواند بتنی با کارایی مناسب تولید کند، بنابراین باید بین کارایی، مقاومت و اقتصاد تعادل برقرار کرد. برای ساخت بتن ضروری است سنگ‌دانه‌های ریز و درشت به‌گونه‌ای با یکدیگر مخلوط شوند که ضمن ایجاد انسجام کافی، بتن نیز دارای کارایی مناسب باشد.

مقاومت بتن‌ها با نسبت آب به سیمان یکسان، به‌ویژه در نسبت آب به سیمان کم، با کاهش حداکثر اندازه سنگ‌دانه معمولاً افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده، احتمالاً این است که مقاومت پیوستگی بین خمیر سیمان و ذرات سنگ‌دانه بزرگ، کمتر از سنگ‌دانه کوچک می‌باشد.

زیرا سطح ویژه سنگ‌دانه‌های بزرگ کمتر از سنگ‌دانه‌های کوچک‌تر است وضعیت بیشتری را به وجود می‌آورد. از طرف دیگر افزایش حداکثر اندازه سنگ‌دانه مقدار آب موردنیاز مخلوط را برای کارایی مشخص کاهش می‌دهد. در نتیجه نسبتاً آب به سیمان بتن کاهش و مقاومت آن افزایش می‌یابد. همچنین با بزرگ‌تر شدن ابعاد دانه‌ها، مقدار آب لازم برای مرطوب کردن سطح واحد وزن دانه‌ها کمتر می‌شود. لذا گرایش منحنی دانه‌بندی مصالح سنگی به طرف قطرهای بزرگ‌تر، میزان آب لازم مخلوط را پایین می‌آورد. پس برای یک کارایی و یک میزان سیمان مشخص، نسبت آب به سیمان کاهش یافته و در نتیجه مقاومت افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش حداکثر اندازه سنگ‌دانه دو اثر متضاد دارد و بایستی با احتیاط وارد عمل شد؛ هرچه روانی بتن بیشتر باشد نیاز به کاهش استعداد جداسازی و آب‌انداختگی احساس می‌شود و لازم است دانه‌بندی ریزتر بکار رود.

حداکثر اندازه اسمی سنگ‌دانه‌ها در درجه اول با توجه به ابعاد قطعه، فاصله آزاد بین میلگردها، ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها و حتی قطر لوله پمپ و غیره انتخاب می‌گردد. باید طراحی و اجرای آرماتورها در سازه‌های بتنی به شکلی باشد که بتن با توجه به حداکثر اندازه اسمی سنگ‌دانه بتواند به‌راحتی از بین آرماتورها مخصوصاً در محل تجمع آرماتورهای طولی و عرضی و سنجاقی عبور کند. بزرگ‌ترین اندازه اسمی سنگ‌دانه باید مساوی یا کوچک‌تر از حد مجاز فاصله میلگردها باشد. بنابراین این نیاز احساس می‌شود که طراحی سازه با تولیدکننده بتن می‌بایست در این خصوص هماهنگ باشد.



## نوع سنگ‌دانه:

دو عامل بسیار مهم که از ویژگی‌های سنگ‌دانه است و بر مشخصه‌های بتن اثر می‌گذارد شکل ذرات و بافت سطحی سنگ‌دانه است. در روش ملی طرح مخلوط بتن، سنگ‌دانه‌ها از نظر شکل به دو صورت گرد گوشه (رودخانه‌ای شکسته نشده) و تیز گوشه (شکسته) تقسیم می‌شوند. شکل ذرات و بافت سطحی عوامل مهمی در تغییر کارایی مخلوط می‌باشند و بافت سطحی در پیوستگی بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه و مقاومت بتن مؤثر است. برخلاف شکل سنگ‌دانه ریز، شکل سنگ‌دانه درشت بر مقاومت تأثیر بیشتری دارد. به‌طور کلی سنگ‌دانه شکسته شامل

دانه‌هایی می‌باشد که در یک یا چند وجه آن شکسته یا تیزگوشه است. با استفاده از این نوع سنگ‌دانه کارایی بتن کاهش اما مقاومت افزایش می‌یابد. تأثیر شکل و بافت سطحی درشت‌دانه‌ها بر مقاومت بتن بیشتر از ریزدانه‌ها است، درحالی‌که تأثیر شکل و بافت سطحی سنگ‌دانه‌های ریز بر کارایی و روانی بتن بیشتر تأثیر دارد.



## دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها:

دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها نیز عامل مهمی در شکل‌گیری خواص بتن است. معمولاً محدوده دانه‌بندی طوری در نظر گرفته می‌شود که از طرفی حجم فضای خالی بین سنگ‌دانه‌ها تا آنجا که امکان دارد کاسته شود و از طرف دیگر کارایی مناسبی برای بتن تأمین گردد. زیرا اگرچه می‌توان منحنی دانه‌بندی و محدوده آن را طوری ارائه کرد که حداقل فضای منافذ به دست آید، اما ممکن است چنین مخلوطی دارای کارایی مناسب نباشد. دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های بتن همچنین تأثیر زیادی بر جداسازی، آب‌انداختگی، جمع‌شدگی خمیری و جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدن در بتن سخت‌شده دارد.

متأسفانه در ایران عدم دسترسی دائم و ثابت به سنگ‌دانه مناسب (خصوصاً ریزدانه) یکی از بزرگ‌ترین مشکلات تولید بتن آماده است و در حال حاضر شاهد سنگ‌دانه‌هایی هستیم که فاقد فیلر و ریزدانه لازم هستند. هرچقدر سنگ‌دانه ریز (ماسه شسته) دارای فیلر و ریزدانه بیشتری باشد بتن پرمقاومت با کارایی بالا می‌توان تولید کرد. رده ۱ دانه‌بندی سنگ‌دانه ریز در استاندارد ملی شماره ۳۰۲ وجود دارد اما به دلیل مشکلات موجود در کشور از جمله قیمت بسیار پایین ماسه برای تولیدکنندگان، مقرون‌به‌صرفه نبوده و از تولید ماسه شسته رده ۱ صرف نظر می‌کنند. اگر در مسیر توسعه پایدار منابع کشور تدابیر لازم برای تولید این رده در کشور (که مهم‌ترین آن قیمت مقرون‌به‌صرفه برای تولیدکنندگان است) دیده شود تحولی شگرف در صنعت بتن آماده و سازه‌های بتنی کل کشور به وجود خواهد آمد و شاهد سازه‌های بتنی با مقاومت، بادوام و با عمر مفید بالا خواهیم بود.