

# بتن سولفور

علیرضا خالو

استادیار دانشکده مهندسی عمران

مقاله‌ای از کارنامه پژوهشی شریف، سال ۷۰

## چکیده

بتن سولفور، از آن دسته مصالح ساختمانی است که به علت ترکیب خاص خود می‌تواند در خانواده بتنها گنجانده شود و در برخی موارد به عنوان جانشینی مناسب برای بتن معمولی با سیمان پرتلند، به شمار می‌رود. این ماده با ترکیب مصالح سنگی، فیلر و گوگرد که به عنوان ماده چسباننده به کار می‌رود ساخته شده و برای نگهداری خاصیت پلاستیک گوگرد و جلوگیری از ترد شدن آن یک ماده مضاف نیز به این ترکیب اضافه می‌شود. در این مطالعه، آزمایشهایی به منظور بررسی برخی از خواص مکانیکی این نوع بتن انجام شده که نتایج آن به صورت منحنی و جدول ارائه شده است.

نمکی مقاومت بسیار عالی از خود نشان داده است. فرآورده‌های بتن سولفور در گذشته با گوگرد اصلاح نشده که به عنوان عامل چسباننده به کار می‌رفت، تهیه می‌شدند. این فرآورده‌ها همواره با مشکل دوام و پایداری مواجه بودند. با وجود اینکه مصالحی با قدرت مکانیکی بسیار عالی تولید می‌شد ولی به هنگام کاربرد عملی، این مصالح در مدت زمان کوتاهی فاسد شده و از بین می‌رفتند. به کارگیری سیمان گوگردی اصلاح شده، دوام بتن سولفور را افزایش داده و استفاده از آن را به عنوان یک ماده ساختمانی، قابل قبول ساختند. زمانی که استفاده از سیمان گوگردی اصلاح شده به عنوان عامل چسباننده و مصالح سنگی متناسب با آن رایج شد، بتن سولفورهای حاصله، خواص واحدی را از خود به نمایش گذارند که شامل موارد زیر است:

- الف) قدرت بالا و مقاومت در برابر خستگی
- ب) مقاومت عالی در برابر اغلب اسیدها و نمکها
- ج) سرعت فوق‌العاده در حصول قدرت نهایی

## مراحل آزمایش

هدف اصلی از انجام آزمایشهای مورد نظر، یافتن درصدی بهینه گوگرد و مصالح سنگی و نیز بررسی تأثیر عوامل مختلف در مشخصات مکانیکی این نوع بتن تحت شرایط متفاوت بود. به این منظور لازم بود که نخست نمونه‌هایی تهیه شوند تا اشکالات موجود بر سر راه تهیه نمونه‌ها شناخته شده و برطرف گردند و سپس نمونه‌های اصلی آماده شوند.

آزمایشهای انجام شده بر روی این عملیات شامل دو دسته بودند:  
۱- آزمایشهای مقدماتی که به منظور آشنایی کلی با نحوه تولید این نوع بتن و به منظور یافتن درصدهای تقریبی هر یک از مصالح به کار رفته و در بتن انجام شده‌اند.  
۲- آزمایشهای اصلی که تعیین نقش عوامل مختلف را در مقاومت مکانیکی بتن سولفور مد نظر داشته است. براساس نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده، می‌توان دریافت که بتن سولفور با مقاومت بالا (مقاومت فوق‌العاده زیاد در برابر عوامل شیمیایی و برتریهای دیگر) در موارد متعدد می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب برای بتن با سیمان پرتلند و یا همراه آن باشد.

## مقدمه

بتن سولفور یک ماده ترموپلاستیک است که با مخلوط سیمان گوگردی و مصالح سنگی گرم تهیه می‌شود. بتن سولفور پس از سرد شدن به سرعت سخت شده و قدرت خود را به دست می‌آورد. همانند مصالح بتنی دیگر (بتن سیمان پرتلند و بتن آسفالتی) بتن سولفور نیز نامی عمومی برای یک طیف از فرآورده‌هایی است که در آنها مصالح سنگی، سیمان گوگردی و نسبتهای مصالح به کار رفته، با هم متفاوت است. با کاربرد سیمان گوگردی به عنوان عامل چسباننده و نیز مصالح سنگی، بتن سولفورهای با قدرت بالا به دست خواهد آمد که در مقابل خوردگی مقاوم بوده و می‌تواند در محیطهایی که مصالح ساختمانی دیگر به سرعت از بین می‌روند به کار گرفته شود. بتن سولفور عموماً در مقابل محیطهای قلیایی و اکسیدکننده‌ها مقاوم نبوده ولی در بسیاری از محیطهای اسیدی و

مجهولات اصلی در این مرحله عبارت بودند از: درصد گوگرد، دانه بندی مطلوب برای مصالح سنگی، درجه حرارت لازم برای پخت و نحوه سرد کردن. پس از آزمایشهای متعدد، رفته رفته هر یک از این مجهولات شناخته شدند و نحوه کار برای تهیه بتن به همراه جزئیات مجهول آن نیز مشخص و به این ترتیب مقدمات کار برای تهیه نمونه های اصلی فراهم شد.

### مصالح مصرفی

از آنجا که ترکیب این نوع بتن، مشابه ترکیبهای آسفالتی است، به عنوان اولین آزمون از دانه بندیهای به کار برده شده در بتن آسفالتی برای ساخت بتن سولفور استفاده شد. با توجه به اینکه در این مورد در قالبهای  $5 \times 5 \times 5$  سانتیمتر مورد استفاده قرار گرفته اند از دانه بندی حداکثر اندازه  $\frac{3}{8}$  اینچ برای دانه بندی استفاده شد. بهترین دانه بندی مورد استفاده برای تهیه بتن سولفور در آزمایشها تعیین شد.

### گوگرد

ماده ای که به عنوان چسباننده در این نوع بتن به کار می رود گوگرد است. گوگردی که به این عنوان به کار برده می شود می تواند از نوع خالص یا ناخالص باشد. به منظور انجام آزمایشهای لازم، دو نمونه گوگرد - یکی گوگرد خالص و دیگری گوگرد ناخالص - از پالایشگاه تهران تهیه شد که قسمت اعظم آزمایشها توسط نوع اخیر صورت گرفته است.

### مواد مضاف

به کارگیری گوگرد در بسیاری از این زمینه ها محدود شده است و این به خاطر تمایل گوگرد به بازگشت سریع به حالت پایدار خود است. آنچه در آزمایشهای انجام شده به عنوان ماده مضاف مورد استفاده قرار گرفته است، تمرکزی از گوگرد اصلاح شده است و تحت نام تجاری "SRX" در بازار عرضه می شود. این ماده به عنوان کلید اصلی در تولید و کاربرد موفق این نوع بتن به شمار می رود.

### فیلر

در آزمایشهای انجام شده از پودر سنگ که ریزتر از الک شماره ۲۰۰ بود، استفاده شده است.

### تاب فشاری

یکی از مشخصه های مهم بتن سولفور تاب فشاری نسبتاً بالایی است که بتن سولفور در کوتاه مدت قادر به حصول آن است. تاب فشاری نمونه هایی که عمر آنها هفت روز می باشد در حدود ۵۰۰ کیلوگرم بر

سانتیمتر مربع بوده است. مشخصه دیگر، سرعت حصول چنین مقاومتی است. در حالتی که بتنهای معمولی برای حصول به مقاومت نهایی خود به مدت زمان نسبتاً طولانی احتیاج دارند، بتن سولفور به سرعت به مقاومت نهایی خود نزدیک می شود به طوری که تقریباً ۹۰ درصد از مقاومت نهایی خود را در فاصله زمانی یک تا سه ساعت پس از سرد شدن به دست می آورد.

تاب فشاری اولیه بتن سولفور چنانچه ماده مضاف به آن اضافه نشود، در مقایسه با بتن مشابهی که در آن این ماده به کار برده شده باشد، مقدار کمتری را نشان می دهد.

تاب فشاری بتن سولفور با سیمان گوگردی اصلاح نشده با گذشت زمان به سرعت مقاومت خود را از دست می دهد. هفت روز پس از قالب ریزی، تاب فشاری این بتن با ماده مضاف نزدیک به ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بوده که تقریباً ۴ برابر حالت دیگر است. به کارگیری شن و ماسه ای که املاح مضر نظیر املاح نمکی دارند در بتن سیمانی پرتلند به بتنی با کیفیت پایین و دوام اندک منجر خواهد شد.

نتایج آزمایشها بیانگر آن است که وجود املاح در شن و ماسه تأثیر قابل ملاحظه ای بر تاب فشاری بتن سولفور ندارد. برای تعیین درصد مطلوب فیلر در مصالح سنگی، سه نمونه از مصالح تهیه شده نشان می دهند که با زیاد شدن مصالح پرکننده ریزدانه، تاب فشاری این بتن به مقدار زیادی افزایش می یابد.

### درصد گوگرد

در این آزمایش سه مرتبه نمونه بتنی با ۱۵، ۱۷/۵ و ۲۰ درصد گوگرد تهیه شد. این نمونه ها سپس تحت آزمایش تاب فشاری قرار گرفتند. نتایج نشان می دهند که با افزایش درصد گوگرد، مقاومت فشاری افزایش یافته است به طوری که با افزایش درصد گوگرد از ۱۵ درصد به ۲۰ درصد، تاب فشاری حدود ۶۵ درصد افزایش می یابد.

### تأثیر دما بر ضریب ارتجاعی بتن سولفور

نتایج نشان می دهند که با افزایش درجه حرارت افت مقاومت زیادی در بتن سولفور حاصل می شود. تغییر شدید خواص ارتجاعی بتن سولفور در دمای بالا موجب گردیده که در حال حاضر کاربرد آن در سازه هایی که به دلایل مختلف - مثلاً امکان وقوع آتش سوزی - ممکن است در معرض چنین دماهایی قرار گیرند محدود شود و به جای آن کاربرد این نوع بتن در سازه هایی مانند کانالهای آبیاری که تحت درجه حرارت های بالا قرار نمی گیرند، افزایش یابد.