



بتن گوگردی، ویژگیها و کاربرد آن

حسین چهرگانی، کارشناس ارشد مهندس شیمی، کارخانه سیمان تهران
حسین دلاورزاده، کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران - مرکز تحقیقات سیمان

چکیده

استفاده از مواد زاید و دور ریز به عنوان ماده اولیه یا بخشی از آن در فرآیند تولید، چندین سال است که مورد توجه قرار گرفته است. آلودگی‌های محیط زیست، کاهش منابع مواد اولیه و شرایط اقتصادی این مسأله را ایجاب می‌کند. گوگرد به عنوان محصول فرعی کارخانجات پتروشیمی یکی از این مواد می‌باشد و تاکنون راه حل مناسبی برای مصرف آن ارائه نشده است. در این ماده به جای سیمان پرتلند، از گوگرد به همراه مواد افزودنی دیگر استفاده می‌شود. این بتن دارای مزایای بسیاری از نظر مقاومت در برابر اسیدها و مواد خورنده، قابلیت ذوب چندباره و مصرف مجدد، مقاومت‌های خمشی و فشاری خوب و... می‌باشد. از طرف دیگر خواص کاربردی آن با بتن سیمان پرتلند برابری می‌کند. مصرف بتن گوگردی در مکان‌هایی که خطر خوردگی، شدید باشد توصیه می‌شود. مقاومت این بتن در برابر حملات اسیدی حدود ۳ برابر بیشتر از بتن ساخته شده با سیمان معمولی می‌باشد.

برای تولید این نوع بتن، سنگدانه داغ را با گوگرد مذاب مخلوط کرده و سریعاً بتن‌ریزی انجام می‌گیرد. خواص مقاومتی این نوع بتن، بلافاصله بعد از سرد شدن اولیه بروز می‌کند. در این تحقیق، نمونه‌های آزمایشگاهی با درصدهای مختلفی از گوگرد ساخته شد و تحت آزمایشهای جذب آب، مقاومت و خوردگی در برابر اسید و باز قرار گرفت. نتایج بدست آمده بیانگر مقاومت بسیار خوب این نوع بتن در برابر اسیدهای غلیظ و مقاومت مطلوب خمشی و فشاری در آن می‌باشد. به علاوه در صورتی که به جای ماسه استاندارد از ترکیب دانه‌بندی پیشنهادی استفاده گردد و اصلاحات لازم بر روی گوگرد صورت گیرد، مقاومت خمشی تا حدود ۸ مگاپاسکال افزایش می‌یابد. همچنین در این حالت از قابلیت نفوذ آب کاسته می‌شود.

کلید واژه‌ها: بتن گوگردی، مقاومت، دانه‌بندی، پرکننده، ذوب گوگرد، اصلاح‌کننده

گوگرد یکی از محصولات جانبی صنعت پتروشیمی به حساب می آید که با توجه به تولید انبوه آن، هنوز استفاده مناسبی از آن نشده است و به همین لحاظ ارزان ترین محصول جانبی صنعت پتروشیمی (60 \$/ton) می باشد. تا حدی که در برخی از واحدها، این ماده به دلیل مشکلات و هزینه های حمل و نقل و نگهداری، رایگان در اختیار مصرف کنندگان قرار می گیرد.

بتن گوگردی یکی از ترکیبات خاص گوگرد است که بدلیل دارا بودن قابلیت های قابل مقایسه با بتن سیمان معمولی، داشتن یک فرآیند غیرشیمیائی برای تولید آن و برگشت پذیر بودن (قابلیت استفاده مجدد) مورد توجه قرار گرفته است. این ماده جدید گرچه در شکل نهائی مشابه با بتن سیمان پرتلند است اما دارای کاربرد، تولید و حمل و نقل متفاوتی می باشد. ماده موردنظر از مخلوط کردن داغ سیمان سولفور و سنگدانه های معدنی ایجاد می شود و یک ماده ترموپلاستیک به شمار می آید. استحکام بتن به نحوه سرد کردن بستگی دارد و مثل بتن معمولی با شرایط و نسبت های مختلف دانه بندی، رفتار متفاوتی از خود نشان می دهد. [۱]

خواص ویژه بتن گوگردی به شرح زیر می باشد:

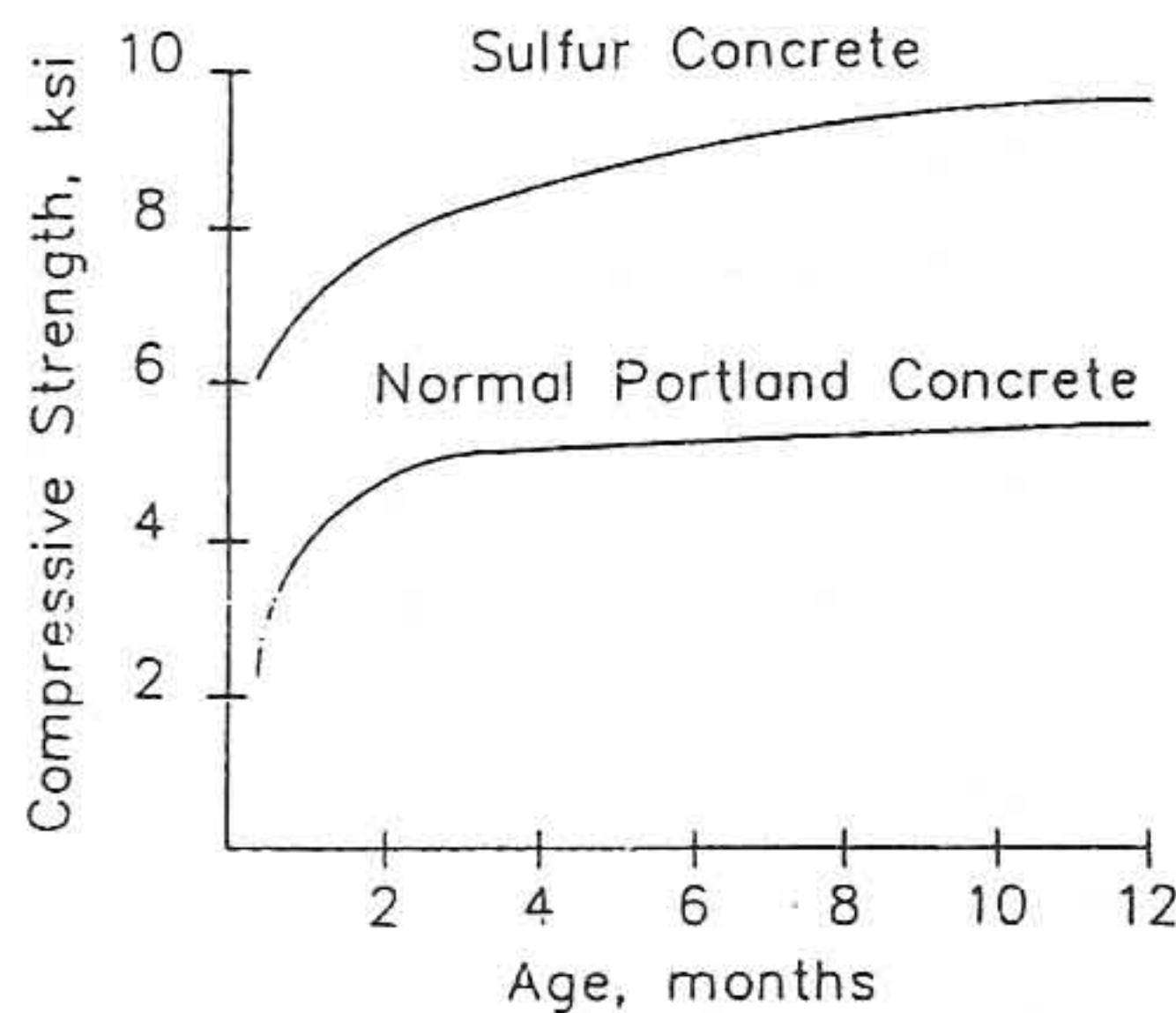
۱- مقاومت استحکامی و خستگی زیاد

۲- مقاومت بالا در برابر خوردگی اسیدها و نمکها

۳- ریزش سریع و با حجم زیاد همراه با بهره استحکامی مطلوب

۴- مقاومت در برابر خوردگی اسیدها و محلول های نمکی

مقاومت فشاری بتن گوگردی در مقایسه با بتن سیمان پرتلند تیپ یک، در شکل ۱ ملاحظه می شود. همچنین سایر مشخصات فیزیکی و ساختمانی بتن گوگردی و بتن معمولی در جدول ۱ مقایسه شده است.



شکل ۱- مقاومت تراکمی نمونه های بتن معمولی و بتن گوگردی

جدول ۱- مقایسه خواص بتن گوگردی و بتن معمولی

مشخصه	بتن گوگردی	بتن سیمان پرتلند
درصد مواد تشکیل دهنده:		
گوگرد	۱۳ تا ۱۵٪	—
آب	—	۷٪
سیمان	—	۱۵٪
پرکننده Fly Ash		
ماسه	۹ الی ۱۱٪	—
سنگدانه درشت	۳۸ تا ۴۲٪	۳۰٪
فضای خالی	۳۳ تا ۳۷٪	۴۵٪
	۴ الی ۶٪	۳٪
چگالی (kg/m^3)	۲۳۲۵ الی ۲۴۰۵	۲۴۰۵
مقاومت فشاری (Mpa)	۳۵ الی ۷۰	۲۴ الی ۳۵
مقاومت تنشی (Mpa)	۵ الی ۷/۵	۳/۵
مقاومت خمشی (Mpa)	۷ الی ۱۰/۵	۳/۷
ضریب الاستیسیته (GPa)	۲۷/۶	۲۷/۶
ضریب انبساط حرارتی ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	14×10^{-6}	$11/9 \times 10^{-6}$
درصد جذب رطوبت (با ۲۴ ساعت غوطه‌وری)	تا ۰/۰۲٪	۳٪
آزمایش ذوب-انجماد	بیش از ۳۰۰ سیکل	تا ۴۰ سیکل

کاربردهای زیر برای این ماده پیشنهاد شده است:

- ۱- سازه‌های دریایی
- ۲- شبکه‌های فاضلاب
- ۳- مخازن اسید، الکترولیت و مواد شیمیایی
- ۴- کانالهای آبیاری
- ۵- ساختمان سازی در سرما
- ۶- ریل‌های راه آهن
- ۷- کف‌سازی و فونداسیون
- ۸- روکش پلها و عایق‌بندی در تونل‌ها
- ۹- جداول و تجهیزات بزرگراهها

مروری بر تحقیقات انجام شده برای شناسائی و اصلاح بتن گوگردی

استفاده از گوگرد به قرن ۱۷ برمی‌گردد ولی اولین بررسی در زمینه استفاده به عنوان مصالح ساختمانی از آن توسط باکان^(۱) و دیویس^(۲) در سال ۱۹۲۱ انجام شد. آنان نتیجه گرفتند، از اختلاط ۴۰٪ گوگرد و ۶۰٪ سنگدانه، ماده‌ای مقاوم در برابر اسید و با استحکام خوب بدست می‌آید. هر چند مواد افزودنی اصلاح‌کننده متعدد اضافه شده توسط آنان جواب مناسبی در بر نداشت. در ادامه، کوبه^(۳) در سال ۱۹۲۴ ترکیب گوگرد و کک را معرفی کرد. دویکر^(۴) نیز مشخص نمود ترکیب گوگرد و سنگدانه فوق‌الذکر در سیکل‌های حرارتی افزایش حجم پیدا می‌کند و از مقاومت خمیدگی آن کاسته می‌شود. وی با پیشنهاد پلی سولفیدهای

1- Bacan
3- Kobbe

2- Davis
4-Duecker

الفین^(۱) به عنوان افزودنی این دو مشکل را بر طرف نمود. در نهایت^(۲) در سال ۱۹۴۰ روشهای ارزیابی آن را معرفی کرد که بعدها مشخصه های آن در استاندارد ASTM انطباق پیدا نمود. [۲]

تحقیقات کنونی در دو شاخه بتن سولفور و بتن گوگردی پالوده^(۳) دنبال می شود. شاخص اخیر هنوز به دلایل اقتصادی در مقیاس کلان انجام نشده است و تحقیقات اخیر بیشتر در جهت افزایش محاسن و کاربردهای بتن گوگردی معطوف بوده است، بطوریکه در اواخر دهه ۱۹۶۰ دال و لودویک^(۴) پیشگامان کار بر روی سیستم سنگدانه و گوگرد بودند و سنگهای گوشه دار با کیفیت بالا را پیشنهاد کردند. یک مشکل عمده این بتن ها از هم پاشیدگی در سیکل های متناوب یخ شدن و آب شدن^(۵) وقتی که در حالت مرطوب یا غرق شده در آب قرار دارند، می باشد. برای رفع این مشکل تحقیقات بر روی استفاده از اصلاح کننده ها ادامه دارد. بدون استفاده از اصلاح کننده، با سرد شدن مخلوط گوگرد و سنگدانه، ذرات گوگرد ابتدا در دمای 114°C به شکل منوکلینیک (S_{β}) در می آیند که کاهش ۷٪ در حجم را بدنبال دارد. با کاهش دما به زیر 96°C تبدیل به شکل ارتورمبیک (S_{α}) را به دنبال دارد که پایدارترین شکل گوگرد است. این تغییر بسیار سریع و در کمتر از ۲۴ ساعت صورت می گیرد و با توجه به تراکم تر بودن S_{α} از S_{β} فشار بسیار زیادی بر بتن وارد شده و قطعه مورد نظر در زمان کمتری از هم می پاشد. این موضوع با انبساط قطعه شناخته می شود و توسط دوکر^(۶) مشاهده گردید. برای رفع این مشکل اصلاح گوگرد با پلی سولفیدالفینیک پیشنهاد شد که از بعد اقتصادی برای استفاده در مقیاس صنعتی مناسب نیست. بعدها در سال ۱۹۷۳ توسط وروم^(۷) و اورنگا^(۸) گوگرد را با واکنش پلیمرهای هیدروکربن الفین گرفتار کردند. مکبی و سولیوان^(۹) نیز از واکنش کنترل شده سیکلوپنتادین (CPD) استفاده کردند که با پایدار کردن در حالت S_{β} انجام می گیرد. روشهای دیگر اصلاح گوگرد توسط ژیلوت^(۱۰) و همکارانش با استفاده از نفت خاک و افزودنی Polyol سیمیک، و اشنايدر^(۱۱) با استفاده از DCPD و یا یک گلیکول، عنوان شده است. همچنین وو^(۱۲) برای افزایش مقاومت یخ زدن - ذوب شدن بتن، افزودنی اسید فسفریک را پیشنهاد کرده است. [۲ و ۳]

بدین ترتیب تا سال ۱۹۷۶ خصوصیات بتن گوگردی بطور پیوسته ای بهبود پیدا کرد تا اینکه بگونه ای جدی برای استفاده در مواردی که نیاز به مقاومت بالا در برابر اسیدها و نمکها مورد لزوم است پیشنهاد گردید. برای حصول به بهترین خواص بتن گوگردی، اطلاعات مندرج در جدول ۲ می تواند مدنظر قرار گیرد.

جدول ۲- خواص بتن گوگردی (با سنگدانه های کوچکتر از یک اینچ)

قابلیت کار	درصدوزنی سنگدانه	درصدوزنی گوگرد	وزن مخصوص	درصد حجمی تخلخل	قدرت فشاری psi(Mpa)	درصدوزنی جذب آب
خشکی نسبی	۹۰/۰	۱۰/۰	۲/۲۰۹	۱۳/۷	۲۹۶۰ (۲۰/۴)	۱/۰۶
" "	۸۷/۵	۱۲/۵	۲/۲۰۹	۹/۷	۶۱۰۰ (۴۲/۱)	۰/۵۴
سفتی	۸۵/۰	۱۵/۰	۲/۲۷۰	۶/۲	۷۳۶۰ (۵۰/۸)	۰/۰۷
سیال	۸۲/۵	۱۷/۵	۲/۳۷۲	۵/۵	۷۴۵۰ (۵۱/۴)	۰/۰۲
سوپ مانند	۸۰/۰	۲۰/۰	۲/۳۶۶	۵/۱	۶۵۳۰ (۴۵/۰)	۰/۰۱

1-Olfen polysulfide

3-Sulfur-Infiltration Concrete

5-Freezing & Thawing

7-Vroom

9-Mcbee & Sullivan

11-Simic & Schneider

2-Mckinney

4-Dale and Ludwige

6-Duecker

8-Ortega

10-Gillott

12-Woo

آزمایش‌های انجام شده:

آنچه در این بخش ارائه می‌گردد تجربیاتی است که در زمینه ساخت نمونه‌های بتن گوگردی حاصل شده است. در حقیقت سعی شده است تا با استفاده از اطلاعات تئوریک جمع‌آوری شده، تجربیاتی عملی در حصول، به شرایط بهینه‌ای برای تولید نمونه‌های آزمایشگاهی بدست آید و بررسی لازم جهت سوق دادن آن به تولید صنعتی صورت گیرد. بر روی نمونه‌های ساخته شده، تعدادی از تستهای مرسوم نیز صورت گرفته است. با توجه به تعداد زیاد نمونه‌های ساخته شده و شناخت و اصلاحات تدریجی حاصل از آنها، بیان تمامی مراحل و جزئیات آزمایش‌ها موجب درازی کلام خواهد شد و ما بیشتر به نتایج تستها برای نمونه‌های مختلف می‌پردازیم و تعدادی از موارد مذکور در بخش نتیجه‌گیری بیان می‌گردد.

روش تهیه نمونه:

نمونه آزمایشگاهی از ریختن مواد بتن گوگردی در دمای اختلاط 132°C تا 141°C و در قالب فولادی (طبق استاندارد ASTM C31) تهیه می‌گردد. قالب باید تا دمای حدود 138°C قبل از ریختن بتن گرم شده باشد. مواد به وسیله کوبه نیم کره‌ای شکل با ضربات آهسته متراکم می‌شوند. قالب به صورت عمودی ریخته شده و قبل از آن که بتن از قالب خارج شود، لازم است دمای اتاق خنک شود و قبل از تست حداقل یک روز در همان دما بماند تا کاملاً "خنک گردد". نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت ماندن در دمای محیط (20°C) حدود ۷۵٪ تا ۸۵٪ از مقاومت نهائی را به دست می‌آورند و مقاومت نهائی بعد از ۱۸۰ روز ماندن در دمای 20°C بدست می‌آید. [۴]

اندازه‌گیری جذب رطوبت

برای این کار ابتدا نمونه‌های سالم بتن گوگردی خشک را به مدت ۲۴ ساعت در آب 20°C قرار می‌دهیم. باثبت وزن دقیق نمونه‌ها، قبل و بعد از قراردادن در آب، مقدار آب جذب شده به دست می‌آید. نتایج این ارزیابی در جدول ۳ دیده می‌شود.

جدول ۳- نتایج آزمایش جذب آب برای نمونه‌های مختلف بتن گوگردی به صورت متوسط

نوع نمونه‌ها	تعداد نمونه‌ها	درصدافزایش وزن(%)
۲۰٪ گوگرد	۶	۶/۵۷
۲۵٪ گوگرد	۵	۳/۱۶
۳۰٪ گوگرد	۶	۰/۹۳

مقاومت در برابر اسید

برای این آزمایش تعداد ۶ نمونه از قطعات بتن گوگردی که با درصدهای مختلفی از گوگرد ساخته شده بود مورد استفاده قرار گرفتند. به این ترتیب که نمونه‌های مزبور در محلول اسید سولفوریک ۲ نرمال برای مدت ۲۴ ساعت و در دمای 60°C قرار داده شد و تغییرات PH محلول و کاهش وزن نمونه‌ها در اثر خوردگی مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که می‌دانیم این ماده اسیدی بسیار قوی و دارای توان خوردندگی بسیار زیاد می‌باشد و حرارت دادن سبب افزایش فعالیت آن می‌گردد. نتایج اقدامات فوق در جدول ۴ درج شده است. به منظور جلوگیری از جذب اسید در بافت نمونه‌ها، آنها را قبل از تماس با اسید در آب غوطه‌ور می‌کنند. [۵]

با ملاحظه نمونه‌ها پس از تماس با اسید، مشخص می‌گردد که سطح آنها هیچ تغییری ننموده است. همچنین کاهش جرم محسوسی در نمونه‌ها به دست نیامده است. به علاوه مشخصه‌های محلول اسید نیز مثل PH، رنگ و غلظت، ثابت بود.

قاومت در برابر بازها

مشابه آزمایش قبلی، ۶ نمونه دیگر تهیه شده و در معرض سود 1N قرار گرفت. نتایج این آزمایش در جدول ۵ درج شده

است. ملاحظه نتایج مزبور بیانگر خوردگی شدید این بتن در برابر مواد قلیائی است. علاوه بر آن تغییر رنگ محلول سود به رنگ کاملاً زرد، مؤید اینست که گوگرد موجود در نمونه‌ها توسط سود حل شده است.

جدول ۴- نتایج آزمایش اثر اسید بر نمونه‌های بتن گوگردی (اسیدسولفوریک ۲N با دمای ۶۰°C)

شماره نمونه	درصد گوگرد	کاهش وزن نمونه (gr)	درصد کاهش وزن (%)
۱	۲۰	۰/۰۳	۰/۰۲۵
۲	۲۰	۰/۰۲	۰/۰۱۴
۳	۲۵	۰/۰۴	۰/۰۳۸
۴	۲۵	۰/۰۴	۰/۰۲۸
۵	۳۰	۰/۰۱	۰/۰۸
۶	۳۰	۰/۰۳	۰/۰۲۱

جدول ۵- نتایج آزمایش اثر باز بر روی نمونه‌های بتن گوگرد (سود ۱N)

شماره نمونه	درصد گوگرد	کاهش وزن نمونه (gr)	درصد کاهش وزن
۱	۲۰	۰/۹۴	۰/۷۵
۲	۲۰	۰/۹۸	۰/۷۵
۳	۲۵	۱/۲۲	۰/۹۶
۴	۲۵	۱/۲۳	۰/۹۲
۵	۳۰	۰/۴۷	۰/۳۱
۶	۳۰	۰/۴۸	۰/۲۹

مقاومت نمونه‌های بتن گوگردی:

باتوجه به محدودیت‌های پیش آمده برای این تست، فقط به اندازه‌گیری مقاومت خمشی نمونه‌ها امکان پذیر شد. مقاومت خمشی طبق استاندارد ASTM C78 برای نمونه‌هایی با ۲۰٪، ۲۵٪، ۳۰٪ گوگرد انجام گرفت. نتایج این آزمایش در جدول ۶ درج گردیده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود این مقاومتها در حدود مقاومت سیمانهای معمولی (و حتی بهتر از آنها) می‌باشد البته ۳ نمونه فوق از بهترین نمونه‌های ساخته شده انتخاب گردید و دارای هیچگونه اصلاح‌کننده و افزودنی نمی‌باشد. [۶]

جدول ۶- نتایج تست مقاومت خمشی برای نمونه‌های بتن گوگردی

شماره نمونه	مقدار گوگرد (درصد)	مقدار مقاومت خمشی (Mpq)
۱	۲۰	۴/۷
۲	۲۵	۳/۶
۳	۳۰	۳/۹

بحث و بررسی

با عنایت به آزمایش‌های انجام شده و مطالب منتشر شده از تجربیات دیگران، موارد زیر قابل ذکر است:

۱- با توجه به نوع دانه‌بندی سنگدانه نمونه‌ها، لازم است مقداری سنگدانه درشت به بتن اضافه شود. این کار سبب افزایش تحمل بار استاتیکی و مقاومت بتن به هنگام گسیختگی در مقابل ضربات شدید می‌شود. علاوه بر این، ایجاد ناهمگونی در سنگدانه‌ها، مانع تشکیل ترکهای موضعی می‌گردد.

۲- مقدار جذب آب مطابق جدول ۳ با افزایش مقدار گوگرد کاهش یافته است. این موضوع به دلیل پوشیده شدن حفره‌ها و فاصله‌های بین سنگ‌دانه‌ها می‌باشد. مقدار جذب آب در نمونه‌هایی با ۳۰٪ گوگرد کمتر از ۱٪ ملاحظه می‌شود. در حالیکه جذب آب در بتن سیمان پرتلند بطور معمول ۳٪ می‌باشد. افزایش مواد اصلاحی و فیلر مناسب همراه با بهره‌گیری از ترکیب مناسبی از سنگدانه‌ها، مقدار جذب آب را به حدود ۰/۰۲ درصد می‌رساند.

۳- همانگونه که پیش‌بینی می‌شد، نمونه‌های بتن گوگردی از مقاومت بسیار خوبی در برابر اسیدهای قوی برخوردارند. این موضوع با توجه به حضور مواد قلیایی در سیمان معمولی و خوردگی در آن، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

۴- برخلاف مورد بالا، مقاومت بتن گوگردی در برابر بازها بسیار ضعیف می‌باشد. مقدار خوردگی نمونه‌های قرار گرفته در معرض سود یک نرمال ۳۰ برابر بیشتر از اثر اسیدسولفوریک ۲N با دمای ۶۰°C می‌باشد. لذا هنگام استفاده در محیط‌های بازی باید به این نکته توجه داشت.

۵- با توجه به اینکه نمونه‌های ساخته شده فاقد مواد اصلاحی، سنگدانه درشت و فیلر مناسب بودند، با این حال مقایسه مقاومت خمشی بتن گوگردی با بتن سیمان پرتلند بیانگر مناسب بودن استحکام آن است. این موضوع بخصوص در نمونه‌هایی با ۲۰٪ گوگرد ملاحظه می‌شود.

۶- مطابق تجربیات بدست آمده و اطلاعات موجود در منابع، ترکیب بهینه برای اجزاء بتن گوگردی به صورت زیر می‌باشد:

الف- گوگرد: ۱۳-۱۵ درصد - فیلر Fly Ash: ۹ تا ۱۱٪ - ماسه ۳۸ تا ۴۲٪ - سنگدانه درشت ۳۳ تا ۳۷٪

ب - گوگرد: ۱۷ تا ۲۰٪ - پلیمر SRX: ۱ تا ۱/۲٪ - پرکننده‌ای مانند پودرسنگ یا میکروسیلیس: ۵ تا ۱۵٪

* ماده تثبیت کننده SRX ترکیبی از ۹۸٪ گوگرد و ۲٪ ماده الفینی حاصل از پالایشگاه است و این ماده نیز به صورت پودر تهیه می‌شود. روش اخیر در تولید بتن گوگردی توسط «روم» و همکارانش، به صورت صنعتی نیز در آمده است.

۷- بتن گوگردی پس از چند ساعت به ۷۰٪ مقاومت نهائی خود می‌رسد و پس از ۲۴ ساعت در دمای محیط، ۷۵ الی ۸۵٪ مقاومت نهائی را حاصل می‌کند. مقاومت نهائی تنها پس از ۱۸۰ روز بدست می‌آید.

۸- با توجه به اهمیت بحث تخلخل بتن بهتر است تستهای معرفی شده استاندارد برای نمونه‌ها انجام گیرد.

۹- برای تولید صنعتی از وسایل و تجهیزاتی مشابه بتن آسفالته استفاده می‌شود و پیشنهاد شده است که در صورت اختلاط گرم سنگدانه‌ها (دمای حدود ۱۷۷ تا ۲۰۴°C) با سیمان گوگردی اثر بهتری حاصل می‌شود.

۱۰- زمان کارپذیری بتن گوگردی محدود است. برای ضخامت ۲ اینچی آن ۲ تا ۱۰ دقیقه و برای ضخامت ۴ اینچی ۵ الی ۲۰ دقیقه فرصت می‌باشد. بنابراین کارگران ماهر و مسلط باید به کار گرفته شوند. همچنین جهت پرداخت خراشها و ناهمواریها با استفاده از یک مشعل، پرداخت مجدد قابل انجام می‌باشد. (بهتر است از طریق^(۱) صورت گیرد.) همچنین شستشوی سطح بتن پس از گیرش نیز مفید می‌باشد.

۱۱- به لحاظ صنعتی نگهداری بتن در یک محدوده کوچک دمایی در حالت مذاب و اختلاط کامل آن اهمیت دارد. پیمانان کردن مواد باید به ترتیب: ماسه، گوگرد و فیلر صورت گیرد تا مشکل غبار زدائی و گلوله‌ای شدن فیلر به وجود نیاید. قالبها را باید گرم کرد تا از تغییر شکل پوسته‌ای بتن گوگردی در اثر گیرش نهائی، به هنگام مجاورت با قالب سرد جلوگیری شود. عملیات ریزش

باید سریع باشد تا درزبندی^(۱) و پرداخت، تا زمانی که بتن هنوز داغ است، انجام گیرد.

نتایج

نتایج حاصل از بررسی های انجام شده به شرح زیر بیان می گردد:

- ۱- از این ماده بیشتر برای سطوح صنعتی که مورد حمله مواد اسیدی قرار دارد، استفاده شود.
- ۲- به دلیل مزیت زمان گیرش سریع^(۲) و سرعت رسیدن به استحکام نهایی (کمتر از یک روز) در موارد خاص می تواند بسیار مفید باشد. بتن گوگردی در ۱ الی ۲ ساعت پس از بتن ریزی شکل نهایی خود را پیدا می کند و می توان قالبها را باز کرد. در حالی که این زمان برای سیمان پرتلند کمتر از ۱۲ ساعت نیست.
- ۳- بتن گوگردی به دلیل نفوذ آب پایین و ویژگیهای آن، پایداری بیشتری در سیکل های سرد و گرم شدن دارد (۳۰۰ سیکل در برابر ۴۰ سیکل برای بتون معمولی) همچنین در هنگام یخبندان بهتر از سیمان معمولی قابل استفاده است.
- ۴- دمای اختلاط بتن گوگردی باید کنترل شده و در محدوده ۱۳۰ تا ۱۴۰°C نگاه داشته شود.
- ۵- درصد گوگرد در بتن گوگردی باید مقدار معینی باشد. بالاتر بودن آن سبب بیشتر شدن میزان انبساط و انقباض و کاهش شدید ویسکوزیته می شود. درصد پایین نیز سبب افزایش فضای خالی در بتن و در نتیجه، شکنندگی و غیرقابل عملیات شدن آن می شود. در نهایت افزایش رطوبت و کاهش دوام بتن در سیکل یخبندان و ذوب را به دنبال دارد. تنظیم درصد گوگرد طوری است که نباید درصد فضای خالی بیشتر از ۸٪ باشد.
- ۶- برای اصلاح گوگرد دو روش معمول زیر که بیشتر معمول می باشد توصیه می شود:
الف- گوگرد را با مقدار مساوی CPD و DCPD ترکیب نمایند.
ب- گوگرد را با پلیمر الفین هیدروکربن (ESCOPOL) مخلوط نمایند.
- ۷- توصیه استاندارد ASTM D3515 برای دانه بندی سنگ دانه ها موجب تقویت بتن می گردد. همچنین آنها باید به لحاظ تمیزی، خوردگی، جذب رطوبت و مقاومت بالا در برابر تست یخ زدن و آب شدن شرایط لازم را داشته باشند.
- ۸- سطوح بتن گوگردی به راحتی شسته و تمیز می شوند و مقاومت بالایی در برابر سایش از خود نشان می دهند.
- ۹- عدم نیاز به آب، آن را برای مکانهایی که دسترسی به آب مناسب جهت بتن سیمان پرتلند نیست، مفید می سازد.
- ۱۰- ذوب چندباره و استفاده مجدد از بتن فرسوده امکان پذیر است. علاوه بر این ضایعات گوگردی صنایع نفت و پتروشیمی را مورد استفاده قرار می دهد که اثرات بسیار مثبت زیست محیطی را دنبال دارد.
- ۱۱- محدودیت استفاده در دمای بالا و در مقابل آتش سوزی برای آن جدی است. همچنین نباید در معرض محیط قلیائی قرار گیرد.

مراجع:

- [1] Kohls, [et al], "Pelletized Sulfur Concrete and Method of Preparing Same" U.S.patent, NO. 5004799
- [2] "ACI Manual of Concrete Practice 1994", Guide for Mixing and Placing Sulfur Concrete in Construction. ACI 548.2R.88
- [3] V.M. Malhorta, [et al], "Long-term Strength and Durability of Sulfur- Infiltrated Concrete, Polymers in Concrete" Amer. concr. SP publi. NO. 58,1978, PP367-397
- [4] Kawasaki, [et al], "Method for Producing Sulfur Plates", U.S. Patent No. 4800184

[5] Larsen , "Acid Resistant Concrete Articles, Especially Salfur Concrete Pipe, and a Method of Manufacturing Said Articles" , U.S. Patent NO. 4981740

[۶] نویل، آ.ام. "بتن شناسی (خواص بتن)" ترجمه هرمنز فامیلی، جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، پاییز ۱۳۶۹.