

راهنمای اختلاط و جایدهی بتن گوگردی در ساخت و اجرا

فصل ۱ - تاریخچه

۱-۱ - مقدمه

بتن گوگردی مصالح نسبتاً جدیدی است، گرچه ظاهر آن در نهایت شبیه بتن معمولی می‌باشد اما ساخت، حمل، کاربرد و آزمایش آن متفاوت است. هدف این راهنمای آشنائی مهندسین، پیمانکاران، سازندگان و مصرف کنندگان این بتن، کاربردها و کمک برای انتخاب مصالح، نسبت‌های اختلاط و خواص آن جهت استفاده بهینه بتن گوگردی است. بتن گوگردی مصالحي ترمoplastیک است که با اختلاط سیمانهای گوگردی بصورت گرم با سنگدانه‌های معدنی ساخته می‌شود. بتن گوگردی سریعاً دراثر خنک شدن سخت می‌شود و کسب مقاومت می‌کند. اگر سنگدانه‌های مقاوم در برابر اسیدها و نمکها بکار رود بتن گوگردی پر مقاومت و بادوام می‌تواند تولید شود و در مواردی که سایر بتن‌ها سریعاً از بین می‌روند بخوبی مصرف گردد. بتن گوگردی در محیط‌های فلایی و اکسید کننده‌ها پایدار نیست اما در محیط‌های اسیدی و نمکها عملکرد عالی دارد.

بتن‌های گوگردی اولیه که با گوگردهای اصلاح نشده ساخته می‌شوند از نظر دوام مشکل داشتند. حتی وقتی از مصالح مقاوم و بادوام برای تولید این بتن استفاده می‌شد، این بتن‌ها در زمان نسبتاً کوتاهی از بین می‌رفت و خراب می‌گشت. بهر حال با مصرف سیمانهای گوگردی اصلاح شده دوام بتن‌های گوگردی افزایش یافت و کاربرد آن را بعنوان مصالح ساختمانی امکان پذیر نمود. در این حالت این نوع بتن برخی خواص منحصر بفرد را به اثبات رسانده است که عبارتند از:

الف - مقاومت زیاد و مقاومت در برابر خستگی

ب - مقاومت عالی در برابر بیشتر اسیدها و نمکهای آنها

ج - گیرش فوق العاده سریع و کسب مقاومت زود هنگام

یکی از بیشترین کاربردهای بتن گوگردی، استفاده آن بعنوان کف‌های صنعتی است که در برابر مواد شدیداً خورنده قرار می‌گیرند.

۱-۲ - تحقیقات اولیه

صرف گوگرد بعنوان عامل مذاب چسباننده به دوران ما قبل تاریخ بر می‌گردد. در قرن ۱۷ میلادی از گوگرد برای اتصال فلزات در سنگ استفاده می‌شد و هنوز در امریکای لاتین استفاده‌های مشابه صورت می‌گیرد. پس از جنگ جهانی اول (۱۹۱۹) تقاضای گوگرد به ایجاد گنبدهای بزرگ گوگرد در نزدیک Matagorda تگراس انجامید. این امر تولید گوگرد را در ایالات متحده دوچندان نمود و به تولید مازاد منجر گردید.

Davis و Bacom در ۱۹۲۱ گزارشی را در رابطه با مصارف گوگرد در صالح ساختمانی و صرف این ماده زائد و اضافی ارائه دادند. آنها بسیاری از افزونه‌های (افزونه) پیشنهادی را برای اصلاح خواص گوگرد برای مصارف خاص آزمایش نمودند و دریافتند که اغلب آنها نامناسب می‌باشند. آنها متوجه شدند که مخلوط ۶۰ درصد ماسه و ۴۰ درصد گوگرد، صالحی مقاوم در برابر اسید و با مقاومت عالی را بوجود می‌آورد.

Kabbe در ۱۹۲۴ خواص ضد اسیدی صالح ساخته شده از گوگرد و کک را گزارش نمود. Duecker در ۱۹۳۴ دریافت که مخلوط ۶۰ درصد ماسه و ۴۰ درصد گوگرد در چرخه‌های حرارتی افزایش حجم توأم با کاهش مقاومت خمثی را بوجود می‌آورد. وی قادر بود هر دو خاصیت افزایش حجم و کاهش مقاومت ناشی از چرخه‌های حرارتی را با استفاده از اصلاح گوگرد با یک پلی سولفاید اولفین کاهش دهد. صرف افزونه‌های مختلف برای پایداری کردن هرچه بیشتر باعث شد تا بکارگیری بتن گوگردی در صنعت بیشتر شده و تحقیقات بیشتری برای بهبود محصولات گوگردی بعنوان ملاتها و پرکننده‌های مقاوم در برابر اسید به انجام رسد.

Mckinney در ۱۹۴۰ روش‌های آزمایش برای صالح گوگردی را مطرح نمود که در انتیتو Mellon موفقیت آمیز شناخته شد. بیشتر این روش‌ها در ASTM بعنوان آزمایش و مشخصات ملاتها گوگردی ضد اسید مورد اقتباس قرار گرفتند.

پیشرفت‌هایی در امکان اصلاح گوگرد و تولید محصولات با دوام‌تر، علاقه به تحقیقات را در فعالیت‌های تجاری بیشتر نمود. تحقیقات به دو دسته تقسیم شد که شامل بتن گوگردی و بتن گوگردی تزریقی بود. این گزارش عمدتاً بر روی استفاده از بتن گوگردی مرکز می‌شود زیرا بتن گوگردی تزریقی هنوز به مصارف گستره‌ده و در مقیاس بزرگ و واقعی دست نیافته است.

۱-۳ - تحقیقات اخیر در باره بتن گوگردی

پیشرفت‌های عده در توسعه و کاربرد بتن گوگردی در دهه اخیر (دهه ۸۰) حاصل شد. تحقیقات حول این مسئله بنا شد که بتن گوگردی مصالح ساختمانی ماندگار و بادوام باشد و سیمانهای گوگردی بهبود یافته و طرح اختلاط بهتر برای تولید محصولات یکنواخت با روش عادی ساخته شود.

در اوخر دهه ۶۰، Ludwig و Dale روی ساختار سیستم گوگرد - سنگانه کارکردن و به لزوم استفاده از سنگانه خوب دانه‌بندی شده برای دستیابی به مقاومت بهینه اشاره نمودند.

این تحقیقات بواسیله Bates و Crow دنبال شد و بتن گوگردی بازالتی پر مقاومت مورد بررسی قرار گرفت. اداره معادن وزارت کشور ایالات متحده و انسٹیتو گوگرد یک برنامه همکاری را در سال ۱۹۷۱ برای تحقیق و توسعه در زمینه مصارف جدید گوگرد شروع نمودند. تقریباً در همین زمان، مرکز فن آوری انرژی و مواد معدنی کانادا (CANMET) و انجمن تحقیقات ملی (NCR) کانادا برنامه تحقیقات خاصی را در ارتباط با بتن گوگردی شروع کردند. این کار با تحقیقات انجام شده در دانشگاه Alberta در آلبرتا کانادا دنبال شد.

در ۱۹۷۳، انسٹیتو کاربرد گوگرد کانادا (SUDIC) با دولت فدرال کانادا و دولت محلي آلبرتا و تولید کنندگان گوگرد کانادا بطور مشترک سعی نمودند بازارهای جدید مصرف برقی گوگردهای مازاد کانادا بوجود آمدند. در ۱۹۷۸، CANMET و SUDIC یک کنفرانس بین‌المللی را تدارک دیدند، در مورد مصرف گوگرد در ساخت و اجراء تبادل نظر گردد. همچنین در این ایام، تعدادی محقق شامل Sullivan، McBee، Gregor، Diehl، Hackl، Loov، Yuan، Vroom، Malhotra و دیگران مقالات و گزارشهایی را با عنوانی و اهداف و منظورهای گوناگون در مورد گوگرد و بتن گوگردی منتشر نمودند. همه این فعالیت‌ها به افزایش آگاهی در ارتباط با استعداد مصرف گوگرد بعنوان مصالح ساختمانی منجر گردید.

با عنایت به اینکه بتن گوگردی با استفاده از گوگرد اصلاح نشده و اختلاط گرم با سنگانه تهیه می‌شد، دوام محصول تولیدی یک مشکل محسوب می‌گردید. بتن گوگردی اصلاح نشده، وقتی در معرض یخ بندان و آبشگی، شرایط مرطوب یا غوطه‌وری در آب قرار می‌گرفت خراب می‌شد. هدف تحقیقات، تبیین دلائلی خرابی این بتن‌های گوگردی و راهکارهای جلوگیری از این خرابی‌ها بود.

وقتی سنگدانه و گوگرد اصلاح نشده گرم مخلوط شده در قالب ریخته و سرد می‌شود تا محصولات بتن گوگردی حاصل گردد، چسب گوگردی بهنگام سردشدن و فاصله گرفتن از حالت مایع، در ابتدا بعنوان گوگرد منوکلینیک (S_B) در 114°C تبلور می‌یابد و با کاهش حجم ۷ درصدی همراه می‌گردد. با ادامه سرد شدن تا دمای کمتر از 96°C ، S_B به گوگرد ارتورومیبیک ($S\alpha$) تبدیل می‌شود که شکل پایدار گوگرد در ده‌ماهای محیط مجاور است. این تبدیل سریع انجام می‌شود و بطور کلی در کمتر از ۲۴ ساعت بوقوع می‌پیوندد. از آنجا که شکل $S\alpha$ متراکمتر و توپرتر از S_β می‌باشد، تنش زیادی در آن بواسطه جمع‌شدگی گوگرد جامد ایجاد می‌شود. بنابراین چسبنده گوگردی تحت تنش قرار می‌گیرد می‌تواند خراب شود. انساط منشور ملات گوگرد و ماسه مثالی از خرابی یک محصول گوگردی بدلیل آزاد شدن تنش بوسیله چرخه حرارتی است که توسط Duecker مشاهده شده بود. لازم بود یک راه حل و بوسیله اقتصادی برای اصلاح گوگرد برای تولید بتن گوگردی با دوام خوب مشخص گردد. در حالیکه افزونه‌های پلی سولفید اولیفینی در این رابطه مفید قلمداد شد، قیمت و هزینه آن مانعی در راه تولید بتن گوگردی در کارهای اجرائی در مقیاس واقعی بزرگ ایجاد می‌نمود.

در ۱۹۷۳ اقدامی توسط Vroom با کمک و همکاری انجمان ملی و تحقیقات کانادا و Ortega از دانشگاه Montreal در Mc Gill در Canada صورت گرفت. در این رابطه گوگرد بوسیله واکنش با پلیمرهای هیدروکربن اولیفینی، اصلاح شد. همچنین روشن شد که یک واکنش مشابه، گوگرد محلول در پلیمر بدست می‌دهد. بتن گوگردی حاصله در ابتدا در Alberta و در سال ۱۹۷۵ واقع در Calgary برای مصارف تجاری تولید شد. اصلاح گوگرد با واکنش با دی سیکلوبنتادین (DCPD) بوسیله بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفت. اما کاربرد آن در مصارف تجاری صنعتی محدود بود، زیرا واکنش بتن گوگرد و DCPD بصورت اکسوترمیک (exothermic) می‌باشد و نیاز به کنترل نزدیک و زیاد دارد. همچنین سیمان گوگردی اصلاح شده با DCPD هنگامیکه در معرض دمای زیاد (بیشتر از 140°C) قرار می‌گیرد ناپایدار می‌شود بطوریکه وقتی با سنگدانه داغ مخلوط می‌گردد ممکن است واکنش ناپایدار کننده‌ای را برای محصول گوگردی بوجود آورد و با S_α تبدیل شود. Sullivan و MCBee این مسئله را از طریق فرآیندی برای تهیه سیمان گوگردی اصلاح شده حل نمودند که در آن S_β به همان شکل پایدار بماند و در هنگام اختلاط به دمای موجود حساس نباشد. اینکار، واکنش کنترل شده سیکلوبنتادین (CPD) را بوجود آورد.

پژوهشگران دیگر روشهایی را برای اصلاح گوگرد جهت ساخت بتن گوگردی گزارش نموده‌اند. این افراد عبارتند از : Diehl و Leutner با استفاده از DCPD ، Gillott و همکاران با استفاده از افرونهای Polyol و نفت خام ، Simic و Schneider با استفاده از DCPC و Woo با استفاده از اسید سفریک برای بهبود مقاومت در برابر یخ‌bandan و آبشده‌گی و Nimer و Campbell با استفاده از ارگانوسیلان () برای بهبود پایداری در برابر آب همچنین Gregor و Hackl کارهای آزمایشگاهی را برای Organosilane) محصولات بتن گوگردی اصلاح شده با DCPD گزارش نمودند، Bright و همکاران کارهایی برروی سیستمهای گوگردی اصلاح شده انجام دادند و Pierce و Bordoli برروی پایداری گوگرد اصلاح شده با DCPD کار نمودند.

از ۱۹۷۶ محصولات تجاری و کاربرد بتن گوگردی مقاوم در برابر مواد خورنده بطور روزافزون بکار گرفته شد. بتن گوگردی بصورت پیش ساخته و درجا در کارهای صنعتی بکار رفت در حالیکه بتن معمولی قبلًا در این پروژه خراب شده بود و خوردگی در برابر اسید و نمکها را تحمل ننموده بود. مصرف این بتن‌ها عمدتاً در کف و دالهای روی زمین، جدول، دیوار و زهکش ترانشه، چاله‌های فاضلاب، مخازن، محفظه‌های الکترولیت، پمپ خانه، پایه‌ها، شالوده‌ها و لوله‌ها و اندود روکش بود. موارد مندرج در این گزارش نتیجه کاربرد این نوع بتن در کارهای صنعتی و تجاری و تجارت حاصله است.

۱-۴ - مزایا و نکات مربوط به بتن گوگردی

مزیت عمدت بتن گوگردی، کاربرد آن بعنوان ماده با دوام ساختمانی و جایگزین بتن معمولی در نقاطی است که اسید و نمک در محیط مجاور آن می‌تواند باعث خرابی آن شود.

چندین مزیت در بکارگیری بتن گوگردی برای عملیات اجرائی در محیط‌های خورنده اسیدی وجود دارد. اولین آنها عمر زیاد این نوع بتن‌ها نسبت به بتن معمولی در این شرایط است. مزایای دیگر بتن گوگردی، زمان سریع گیرش و کسب سریع مقاومت در سنین اولیه است. از آنجا که در کمتر از یک روز به درصد قابل توجهی از مقاومت نهایی دست می‌یابیم، می‌توان قالب‌ها را سریعاً برداشت و بدون زمان عمل‌آوری طولانی از این نوع بتن بهره‌برداری نمود. بطور کلی بتن گوگردی ویژگیهای مفید زیر را دارد:

۱- مقاومت‌های کششی، فشاری و خمشی و عمرخستگی بتن گوگردی بیشتر از بتن معمولی است

شکل ۴-۱ رابطه مقاومت فشاری این دو نوع بتن را در مقایسه با هم نشان می‌دهد. سیمان

پرتلند معمولی (نوع I) به میزان 350 kg/m^3 و سنگدانه با حداکثر اندازه ۳۸ میلی‌متر در

بتن معمولی بکار رفته است.

۲- بتن گوگردی مقاومت عالی در برابر حمله بسیاری از اسیدها و نمکها و برخی محلولهای خیلی

غایی از خود نشان می‌دهد.

۳- بتن گوگردی سریعاً می‌گیرد و به ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت فشاری نهائی در مدت ۲۴ ساعت

می‌رسد.

۴- بتن گوگردی را می‌توان در تمام طول سال در سرمای شدید زیر صفر ریخت.

۵- نفوذپذیری بتن گوگردی در برابر آب بسیار کم است.

جابجایی اختلاط و استفاده از بتن گوگردی باید، احتیاط رعایت نکات اینمی انجام گیرد. این گزارش

جنبه کلی دارد و نمی‌تواند همه نکات و ملاحظات اینمی را شامل می‌شود. محدوده دمای اختلاط ۱۲۷

تا 141°C می‌باشد تا گازهای مضر به حداقل برسد. تهويه کافی بهنگام اجرا و ملاحظات معمول و

استاندارد برای حمل و نقل مواد داغ مایع مد نظر قرار گیرد(لباس و دستکش محافظ کامل، محافظ

چشم و کلاه اینمی). این ملاحظات اینمی توسط « انجمن ملی اینمی (NSC) » تدوین شده است. اگر

دمای محیط از نقطه نوب سیمان و بتن گوگردی بالاتر رود، بتن دچار کاهش شدید مقاومت شده و نرم

و شل می‌گردد.

فصل دوم - راهنمای مصرف کننده بتن گوگردی در ساخت و اجرا

۱-۱- سنگدانه‌ها و گوگرد اصلاح شده

۱-۲- سیمان گوگردی اصلاح شده

از سال های دهه ۱۹۳۰ به این فکر افتادند تا پایانی و دوام گوگرد را در بتن افزایش و انبساط و انقباض را در اثر تغییرات دما کاهش دهند. سیمان های گوگردی اصلاح شدند تا پایداری و دوام را بهبود بخشد. چند روش جهت این هدف بکار گرفته شد. دو روش امروزه در امریکای شمالی برای تولید سیمان های گوگردی بکار می رود که نامهای تجاری خاصی را داراست. روش اول بر پایه واکنش پلیمری گوگرد با یک اصلاح کننده شامل قسمتهای مساوی از سیکلو پنتادین اولیگومر و دی سیکلوپنتادین استوار است (cyclopentadiene) ترکیب و خواص سیمان گوگردی اصلاح شده روش اول به شرح زیر oligomer است:

گوگرد، درصد وزنی $10/0 \pm 95/0$ درصد

کربن، درصد وزنی $5/0 \pm 0/5$ درصد

هیدروژن درصد وزنی $0/5 \pm 0/05$ درصد

چگالی در $25^{\circ}C$ $1/90 \pm 0/02$

لزجت در $135^{\circ}C$ $100-25$ سانتی پوراز

در روش دوم گوگرد اصلاح شده تغليظ شده با ترکیب و اختلاط گوگرد و پلیمر های هیدروکربن اوپیفینی مانند Escopol بدست می آید. این ماده غلیظ سپس در محل با گوگرد خالص به نسبت ۱ به ۱۰ وزنی مخلوط می شود. بتن حاصله از بکارگیری گوگرد اصلاح شده بدست آمده از روش دوم شامل ترکیب تقریبی زیر می باشد:

گوگرد

درصد وزنی ۸۰

کربن، درصد وزنی ۱۸

هیدروژن، درصد وزنی ۲

هر دو روش گوگرد اصلاح شده ای با طول عمر نگهداری خلی زیاد را در حالت جامد بدست می دهد. اگر این مواد در حالت مذاب نگهداری شوند، هر دو نوع گوگرد اصلاح شده (دو نوع اصلاح کننده)، واکنش را ادامه داده و بتن هایی نامرغوب را بوجود می آورند.

در این حالت مصرف کننده باید توصیه های محدوده زمانی نگهداری ماده مذاب در حالت مایع را برای گوگرد اصلاح شده رعایت نماید. روش های آزمایش برای سیمانهای گوگردی اصلاح شده در زیر از نظر می گردد.

۱- گوگرد و کربن با احتراق سیمان گوگردی توسط یک آنالیز در کربن / گوگرد تعیین

می شود.

۲- چگالی سیمان گوگردی طبق ASTM D70 در دمای 50°C انجام می گردد.

۳- لزجت ماده سیمان گوگردی مذاب در دمای 135°C با استفاده از یک لزجت سنج (Viscometer) نوع دوکی شکل چرخان (Rotating Spindle-type Viscometer)

جهز به محفظه ای که با برق گرم شده و کنترل دما (ترmostat) داشته باشد
اندازه گیری می شود.

۲-۱-۲- سنگدانه ها

انتخاب کیفیت سنگدانه مناسب برای هر کاربرد در ساخت بتن گوگردی ضروری است. سنگدانه ها باید با مشخصات C33 ASTM از نظر دوام، تمیزی و میزان مواد زیان آور سازگار باشند. سنگدانه ها باید در برابر حملات شیمیائی مورد نظر در محیط بهره برداری مقاوم باشند. مثلًا سنگدانه های کوارتزی برای محیط های اسیدی و نمکی مناسب هستند در حالیکه سنگدانه های آهکی فقط برای محیط های حاوی املح کاربرد دارند و در محیط اسیدی دوام ندارند.

سنگدانه های شکسته (تیز گوش) نسبت به سنگدانه گردگوش بدلیل افزایش مقاومت بتن گوگردی ارجحیت دارند. سنگدانه ها باید ویژگی های زیر را برآورده نمایند.

۱-۲-۱- دانه بندی سنگدانه

سنگدانه های دانه بندی شده باید در ساخت بتن گوگردی بکار رود تا مصرف سیمان گوگردی (چسباننده) را به حداقل رساند. سه بخش اندازه ای از سنگدانه معمولاً برای تولید بتن توپرومتریکم بکار می رود که عبارتند از :

الف - سنگدانه درشت (شن)

ب - سنگدانه ریز (ماسه)

ج - پرکننده معدنی (ریزتراز ۷۵٪ میلی متر)

دانه‌بندی باید حداقل حفرات و فضای خالی را در سنگدانه‌های معدنی بدست دهد (VMA) . جدول ۲-۱-۱ طبق ASTM D۳۵۱۵ ارائه شود و بعنوان یک راهنمای برای دستیابی به حداقل خطرات در مخلوط می‌تواند بکار رود.

۲-۱-۲-۲ - مقاومت در برابر خوردگی

سنگدانه‌های بتن گوگردی در محیط‌های اسیدی نباید هیچ گونه جوشش و ترکیبی را در برابر اسید با غلظت مورد نظر در دمای خاص محیط نشان دهد. سنگدانه‌های بکار رفته در چنین محیطی نباید کاهش وزنی بیش از ۲ درصد را در برابر اسید با غلظت مورد نظر در دمای $30^{\circ}\pm 3$ در طی ۲۴ ساعت از خود نشان دهد.

سنگدانه بتن گوگردی در محیط نمکی نباید واکنش و یا تجزیه شدگی را طی ۲۴ در محلول مورد نظر و در دمای $30^{\circ}\pm 6$ به نمایش گذارد.

شکل ۱-۴- مقاومت فشاری استوانه ای بتن گوگردی و معمولی در ارتباط با عمر نمونه

جدول ۱-۲-۱- محدوده دانه‌بندی توپو و متراکم سنگدانه (طبق ASTM D۳۵۱۵)

حداکثر اندازه (م.م)	اندازه الک (م.م)	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵
۳۷/۵	۲۵	۱۰۰			
۱۹	۱۰۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰
۱۲/۵	۸۰-۵۶			۱۰۰-۹۰	۱۰۰
۹/۵		۸۰-۵۶			۱۰۰-۹۰
۴/۷۵	۲/۳۸	۵۹-۲۹	۴۹-۲۳	۵۸-۲۵	۶۷-۳۲
۰/۳		۴۵-۱۹	۱۹-۵	۲۱-۵	۲۳-۷
۷۵%	۷-۱	۸-۲	۱۰-۲	۱۰-۲	۱۰-۲

۷- الف

۲-۱-۲- جذب آب سنگدانه

سنگدانه های متخلخل و پوک نباید بکار رود. سنگدانه باید کاملاً نفوذناپذیر و مقاوم در برابر تنش های یخ بندان و آبشده باشد. حداکثر جذب آب سنگدانه درشت باید کمتر از ۱ درصد و برای سنگدانه ریز کمتر از ۲ درصد باشد (آزمایش باید طبق ASTM C۱۲۷ و ASTM C۱۲۸ انجام گیرد).

۲-۲- آماده سازی مخلوط و آزمایش

۱- مخلوط آماده سازی

تولید بتن گوگردی بادوام و مقاوم در برابر خوردگی نیاز به کنترل کیفی همه اجزاء و مصالح مورد استفاده دارد. روش‌های ساخت مناسب نیز برای اختلاط و اجرا (ریختن) در محل لازمست. پیمانکار باید قادر باشد نسبت‌ها و مقادیر هر یک از اجزاء مخلوط را دقیقاً کنترل و گزارش نماید.

۱- خواص

جدول ۱-۱-۲-۲ خواص بتن مورد نظر را یک روز پس از خنک شدن بدست می‌دهد.

جدول ۱-۱-۲-۲ خواص بتن گوگردی پس از یک روز خنک شدن

ویژگی	دائق مغذومند فشاری	دائق مقاومت ذمشی	دائق مقاومت کششی	دائر مقلوب کششی	دائر بزرگ آبروزه در	هزاره میزان موجود	دائر ضربه ابسط	مول الاستیسته E	نحوه آزمایش در بخش ۶-۳-۲-۲ ارائه شده است.
واحد	واحد	واحد	واحد	واحد	واحد	واحد	واحد	واحد	واحد
مقدار	۲۷/۶	۵/۲	۴/۱	۰/۱	۸-۴	۱۵×۱۰	۲۰/۲۷-۷/۶	۶۰	GPa

۲- نسبت‌های اختلاط

۱- کلیات

نسبت‌های مخلوط، مقادیر اجزاء بتن گوگردی شامل سنگدانه درشت، سنگدانه ریز، پرکننده‌های معدنی و سیمان گوگردی لازم برای دستیابی به کیفیت مطلوب و بالا می‌باشد. در این راهنمای، واژه طرح مخلوط برای تعیین مخلوط بهینه با توجه به ملاحظات و روش‌های ارائه شده می‌باشد و نباید با طراحی سازه‌ای اشتباه گرفته شود.

طرح مخلوط بتن گوگردی با بتن معمولی کاملاً متفاوت است. دانه‌بندی مخلوط سنگدانه باید طبق ASTM D۳۵۱۵ باشد که بتن کارآتری را در مقایسه با ویژگیهای ASTM C۳۳ برای دانه‌بندی هر یک از سنگدانه‌ها بوجود می‌آورد.

بهر حال مانند بتن معمولی و بتن قیری، طرح مخلوط بهینه بتن گوگردی با عنایت به خواص مورد نظر و کاربرد ویژه آن بست می‌آید. طرحهای مخلوطی که در اینجا مورد توجه قرار می‌گیرد برای بتن‌های گوگردی است که در ساخت کف‌ها، شالوده‌ها، کف پوش‌ها، مخازن فاضلاب، دیواره‌ها و محفظه الکتروولیت جهت استفاده در محیط‌های اسیدی و نمکی بکار می‌رود.

روش کار طرح مخلوط بتن گوگردی با عنایت به نکات و خصوصیات زیر انجام می‌شود.

۱- مقاومت در برابر حمله بیشتر اسیدها و یا محلولهای نمکهای مختلف

۲- حداقل جذب آب

۳- مقاومت مکانیکی بیش از بتن معمولی و یا معادل آن

۴- سیالیت کافی برای ایجاد کارآئی خوب

۵- حداقل رساندن جمع شدگی در هنگام سخت شدن (انجماد)

۲-۲-۲-۲- سیمان گوگردی مورد نیاز

مقدار سیمان گوگردی باید چنان تعیین شود که تعادلی مطلوب بین خواص مکانیکی، چگالی زیاد، جذب آب کم و کارآئی خوب حاصل گردد. جدول ۲-۲-۲-الف محدوده مقادیر سیمان گوگردی را برای حداقل اندازه سنگدانه با دانه‌بندی متراکم و توپر نشان می‌دهد. مخلوط باید چنان طرح شود که جذب آب بتن کمتر از ۰/۱ درصد وزن آن باشد.

جدول ۲-۲-۲-الف - محدوده میزان سیمان مورد نیاز در بتن گوگردی

درصد وزنی سیمان گوگردی	حداقل اندازه (م.م)	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۶/۳۵ *	۴/۷۵ *
درصد وزنی سیمان گوگردی	حداقل اندازه (م.م)	۱۵-۱۲	۱۶-۱۳	۱۷-۱۴	۱۹-۱۶	۲۰-۱۷	۲۲-۱۹

* این مقادیر در جدول اصلی نبوده است و مترجم آنرا اضافه نموده است.

جدول ۲-۲-۲-ب شامل اطلاعات تشریحی در مورد خواص حاصله مخلوطهایی از بتن گوگردی است که با سندگانه کوارتزی با دانه‌بندی توپر و متراکم و حداقل اندازه ۹/۵ میلی‌متر و مقادیر متفاوت سیمان گوگردی ساخته شده است. با بکارگیری سندگانه توپر و متراکم از نظر دانه بندی و سیمان گوگردی اصلاح شده، محدوده سیمان گوگردی با توجه به نوع، اندازه و دانه‌بندی سندگانه تعیین می‌گردد. جداول ۲-۲-۲-الف و ۲-۲-۲-ب می‌تواند برای انتخاب مقادیر تقریبی حدود سیمان گوگردی در طرح مخلوط بکار رود. مقادیر و نسبت های واقعی طرح مخلوط ممکن است تا حد کمی بیرون از این محدوده واقع شود.

٣-٢-٢-٢- حفرات

به دو دلیل، حفرات بتن گوگردی مهم هستند. اول اینکه محلی برای آزاد کردن تنفس ها میباشد و دوام مصالح را بهبود میبخشد و دوم آنکه وجود حفرات هوا باعث میشود میزان سیمان گوگردی مصرفی کاهش یابد و عمدتاً بعنوان چسب سطح سنگدانه ها را بپوشاند و نقش پرکننده ایفاد نکند و در نتیجه جمع شدگی ناشی از سردشدن چسب سیمانی را کاهش دهد. حفرات حاصله در هنگام اختلاط بصورت مجزا و ناپیوسته هستند و در زیر میکروسکپ نیز این ناپیوستگی مشاهده میشود. در نتیجه این حفرات باعث افزایش جذب آب بتن گوگردی نمیشوند. بطور کلی بین ۴ تا ۸ درصد حباب حبس شده در هنگام اختلاط بتن گوگردی بوجود میآید.

جدول ۴-۲-۶-ب اطلاعات طرح مخلوط بتن گوگردی با استفاده از سنگدانه کوارتزی کوچکتر از ۹/۵

درصد وزنی سنگدانه	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۲/۵	۸۰
درصد وزنی سیمان گوگردی	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰
چگالی بتن گوگردی	۲/۲۰۹	۲/۲۹۷	۲/۳۷۰	۲/۳۷۲	۲/۳۶۵
حرفات و درصد حجمی هوای بتن	۱۳/۷	۹/۷	۶/۲	۵/۵	۵/۱
مقاومت فشاری * بتن MPa	۲۰/۴	۴۲/۱	۵۰/۸	۵۱/۴	۴۵/۰
درصد وزنی جذب آب بتن	۱/۰۶	۰/۵۴	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱
کارآئی بتن گوگردی	نسبتاً خشک	نسبتاً خشک	سفت	سیال	سوپ مانند

* مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های استوانه‌ای است.

** برای هر طرح مخلوط با توجه به نوع سنجکانه، حداقل اندازه و دانه‌بندی موجود باید این مقادیر بدست آید و این اطلاعات عنوان راهنمای منظور گردد.

۲-۲-۳- آزمایش خواص بتن گوگردی

۱- آماده سازی نمونه

نمونه‌های آزمایشی بتن گوگردی باید با اختلاط مواد در دمای 132°C تا 141°C تهیه و در قالب‌های استاندارد ASTM طبق مشخصات قالب‌های فولادی ASTMC^{۳۱} ریخته شود. قالب‌ها می‌توانند تا دمای 138°C قبل از ریختن بتن گوگردی در آن داغ شود. مواد ریخته شده در قالب باقی‌ماند با میله میلی متری داغ شده که سرآن گرد شده است متراکم گردد. نمونه‌ها در وضعیت قائم قرار گرفته تا سرد شود و به دمای اتاق برسد و سپس از قالب درآید. قبل از آزمایش، نمونه‌ها بمدت یک روز در دمای اتاق نگهداری و خنک می‌شود.

۲-۲-۳-۲- مقاومت فشاری

تعیین مقاومت فشاری بتن طبق ASTM C109 یا ASTM C39 باید انجام شود. آزمونه‌ها نباید زودتر از ۲۴ ساعت پس از قالب گیری مورد آزمایش قرار گیرد. در موارد خاص وقتی مقاومت زود هنگام مورد نظر است می‌توان آزمونه‌ها را در زمان کوتاه‌تری (مثلًا چند ساعت) تحت فشار قرارداد. بتن گوگردی در حدود ۷۰ درصد مقاومت نهائی خود را طرف چند ساعت پس از سرد شدن بدست می‌آورد و حدود ۷۵ تا ۸۵ درصد مقاومت نهائی را پس از ۲۴ ساعت در دمای 20°C کسب می‌نماید. مقاومت نهائی بتن گوگردی معمولاً پس از 180°C اندازه‌گیری می‌شود. آهنگ رشد مقاومت به دمای محیط و بتن در هنگام نگهداری بستگی دارد. در دمای بالاتر رشد مقاومت آهسته‌تر و در دمای کم سریعتر می‌باشد. در بتن‌های حجیم بتن گوگردی به آرامی خنک می‌شود و بدین دلیل مقاومت آن به

کندي بالا مي رود. اما در نهايit به همان مقاومتنهائي خود مي رسد. اين عوامل باید در نظر گرفته شود و مشخص شود آزمونه ها در چه سنی مورد آزمایش قرار گيرند.

۲-۲-۳-۳- مقاومت خمشي

مقاومت خمشي بتن گوگري طبق ASTMC۷۸ انجام مي گيرد.

۲-۲-۳-۴- مقاومت کششی شکافتي (برزيلي)

اين آزمایش نيز باید طبق ASTMC۴۹۶ صورت گيرد.

۲-۲-۳-۵- حفرات

میزان حفرات به دو روش زير تعیین مي شود:

۱- با تعیین چگالي بتن گوگري طبق ASTMC۶۴۲ مي توان بصورت محاسباتي درصد هوا (حفرات) را با عنایت به اندازهگيري چگالي حاصله و چگالي محاسباتي مخلوط سنگانه و سیمان گوگري بدست آورد. تمیز بین حفرات مجزا و بهم پيوسته باید طبق ASTMC۶۴۲ انجام مي شود.

۲- با برش زني و تعیین هوا بصورت ميكروسكپي طبق C۴۵۷ ASTM و با استفاده از روش پيمايش خطی Rosiwal مي توان درصد هوا را بدست آورد.

۲-۲-۳-۶- جذب آب

بتن گوگري ابتدا بصورت خشك اوليه وزن مي شود و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب ۲۰ °C غوطهور مي شود. سپس اطراف آن با پارچه جاذب خشك مي شود و مجدداً توزين مي گردد. درصد جذب آب طبق رابطه زير محاسبه مي شود:

$$A = \frac{C - B}{B} \times 100\%$$

A درصد وزنی جذب آب ، B وزن نمونه خشک و C وزن نمونه اشباع با سطح خشک پس از غوطه‌وری می‌باشد. آزمونه های استوانه ای 152×76 میلی‌متر در این آزمایش بکار می‌رود.

۲-۳-۷ - ضریب انبساط حرارتی

ضریب انبساط حرارتی خطی بتن گوگردی به کمک آزمونه های منشوری $13 \times 13 \times 25$ میلی‌متری که از پریدن نمونه استوانه ای 152×76 میلی‌متری حاصل می‌گردد تعیین می‌شود. انبساط در محدوده دمای 25°C تا 100°C اندازه‌گیری می‌گردد که با آهنگ ثابت به میزان $0/1 \pm 3$ در هر دقیقه بالا می‌رود. در این حالت حداقل اندازه سنگدانه به $9/5$ میلی‌متر محدود می‌شود.

۲-۳-۸ - دوام در برابر یخ بندان و آبشدگی

اندازه‌گیری دوام در برابر یخ بندان و آبشدگی طبق روش A دستورالعمل ASTM C666 با عنوان « یخ بندان و آبشدگی سریع در آب » بر روی منشورهای بتی $76 \times 76 \times 356$ میلی‌متری انجام می‌شود. آزمایش تعیین مدول ارتجاعی دینامیکی نیز طبق ASTM C215 به انجام می‌رسد.

۲-۳-۹ - مدول ارتجاعی

مدول ارتجاعی طبق ASTM C469 و بر روی استوانه ای 152×76 میلی‌متری انجام می‌گردد.

۲-۳-۱۰ - دانه‌بندی سنگدانه بتن

نمونه استوانه ای بتن گوگردی به قطر ۷۶ و ارتفاع ۱۵۲ میلی‌متری در کوره سوزانده می‌شود تا مواد سیمانی آن بسوزد. دمای احتراق اولیه 150°C می‌باشد. باقیمانده مواد سیمانی سوخته شده در کوره با دمای 440°C به وزن ثابت می‌رسد. پس از سردکردن و رسیدن به دمای اتاق، دانه‌بندی سنگدانه ها طبق ASTM C136 انجام می‌شود.

همچنین در این حالت با توزین نمونه اولیه و تعیین میزان کاهش وزن آن پس از سوختن مواد سیمانی در کوره به دمای 440°C مقدار تقریبی سیمان گوگردی موجود در بتن بدست می‌آید. درصد وزن گوگرد در بتن را بدین ترتیب بدست می‌آوریم.

۱-۳-۲-۲- تورم رس در بتن گوگردی

رس متورم شونده در بتن گوگردی نباید وجود داشته باشد، زیرا این رس‌ها در اثر جذب رطوبت باد کرده و موجب خرابی بتن می‌گردد. آزمایش مؤثر در این رابطه آن است که نمونه $152 \times 152 \times 25$ میلی‌متری بتن گوگردی در آب غوطه می‌شود. نمونه ابتدا وزن شده و سپس در آب قرار می‌گیرد و پس از در آوردن از آب اطراف آن خشک شده و سپس توزین می‌گردد. سپس نمونه در آب داغ 82°C و دست کم بمدت ۲۴ ساعت قرار می‌گیرد. پس از خاتمه کار نمونه از آب بیرون آورده و سطح آن خشک می‌گردد و مجدداً وزن می‌شود. اینکار مجدداً هر روز انجام می‌گردد تا خرابی مشاهده شود. اولین علامت ایجاد خرابی معمولاً دستیابی به افزایش وزن ۱ درصد یا بیشتر است. این خرابی در صورت وجود متورم شونده پس از روز دوم تا چهارم حاصل می‌شود. پس از این افزایش وزن بروی اثار طبله کردن، ریختن، ترکهای موئی و افزایش شدید وزنی در حدود ۳ تا ۵ درصد مشاهده می‌گردد. اگر مقدار رس متورم شونده زیاد باشد، ترک آنقدر شدید می‌شود که ممکن است نتوان نمونه را از آب داغ خارج نمود.

۲-۳- آماده سازی محل ریختن بتن گوگردی

مهمترین مسئله خشکی محل بتن ریزی بر روی سطح زمین (زیراساس) می‌باشد. وقتی زیراساس نسبتاً عادی از آب است یک لایه ۵ تا ۱۰ سانتی متری از ماسه خشک باید بکار رود تا به سطح مورد نظر بر سیم وقتی رطوبت موجود است یک ورق نازک نایلونی به ضخامت 0.15 تا 0.2 میلی متر یا یک لایه ضد اب و بخار باید روی ماسه یا خاک قرار گیرد تا از رسیدن بخار به بتن گوگردی در هنگام ریختن جلوگیری نماید. سطح بتن ریزی باید بخوبی متراکم و محکم شده باشد. اگر بتن گوگردی روی سطح بتن معمولی موجود ریخته شود، سطح زیرین باید سالم و خشک باشد و ذرات سست و خرد شده باید در ابتدا جدا و برداشته شود. در این حالت نیز اگر بتن زیرین مرطوب باشد می‌توان از یک غشاء محافظ رطوبت استفاده نمود.

۲-۴- ساخت ، حمل ، ریختن و پرداخت

۲-۴-۱ - وسایل لازم

بتن گوگردی با اختلاط سنگدانه گرم شده (۱۷۷ تا ۲۰۴ °C) و سیمان گوگردی اصلاح شده و پودرهای معدنی (با دمای معمولی) و تا دستیابی به مخلوط یکنواخت و همگن ادامه می‌باید و حاصل می‌گردد. در این مدت و تا هنگام ریختن دمای آن باید بین ۱۳۲ تا ۱۴۱ °C باشد. سنگدانه داغ شده سیمان گوگردی را ذوب می‌کند و پرکننده‌های ریز معدنی را گرم می‌نماید.

حدائق و حداکثر دمای بتن گوگردی ۱۲۰ و ۱۵۰ °C است زیرا سیمان گوگردی اصلاح شده در دمای ۱۲۰ °C ذوب می‌شود و در دمای بیش از ۱۵۰ °C سریعاً لزجت آن افزایش می‌باید و مخلوط ناکارآ حاصل می‌گردد. بدین دلایل دمای ۱۳۲ تا ۱۴۱ °C بعنوان محدوده دمای بھینه توصیه شده است تا فرصت کافی برای حمل، ریختن و پرداخت بتن گوگردی قبل از سخت شدن فراهم آید.

وسایل و روش‌های ساخت بتن معمولی و بتن قیری در ساخت، حمل، ریختن و پرداخت بتن گوگردی نیز بکار می‌رود. این وسایل برای ریختن بتن گوگردی در کارگاه شامل موارد زیر است:

۱ - وسایل خشک کننده سنگدانه و گرم کننده آن

۲ - قیف یا باسکول توزین برای سنجش مقادیر و نسبت‌های مواد

۳ - وسایل اختلاط و حمل

۴ - وسایل دستی ریختن و پرداخت بتن

۲-۴-۲ - وسایل خشک کننده و گرم کننده سنگدانه

یک وسیله مؤثر برای خشک کردن و داغ نمودن سنگدانه‌ها، کوره‌های استوانه‌ای چرخان (مثل وسایل ساخت بتن قیری) می‌باشد. بویژه تراک میکسرهای گرم کن دار می‌تواند با تغییراتی برای تهیه و حمل بتن گوگردی بکار گرفته شود.

شن و ماسه جدگانه در سیلوها (کندوها) ریخته شده و بصورت سرد مقدار و نسبت آنها تنظیم می‌شود و سپس داخل کوره چرخان ریخته و مخلوط می‌شود و در این اثنا حرارت می‌خورد که این گرما توسط یک

مشغل گازوئیلی یا پروپانی تولید شده و باعث خشک و داغ شدن سنگدانه‌ها می‌گردد و به حدی بالاتراز دمای ذوب سیمان گوگردی می‌رسد. در این حالت در خروجی گازها ریزدانه‌ها جمع‌آوری شده و مجدداً مخلوط می‌گردد. خروجی گاز و بخار ناشی از سوختن مواد سوختی و تبخیر رطوبت و غبار حاصله از ضروریات است. پس از تخلیه سنگدانه‌های داغ از طریق جام یا تسمه زنجیری فولادی، به درون مخلوط کن و وسیله حمل ریخته می‌شود. گاه در این مرحله سنگدانه داغ توزین می‌شود و این امر برای دقت بیشتر صورت می‌گیرد. چند کنترل کیفی در مرحله ساخت و اختلاط بتن گوگردی باید انجام گردد:

- ۱- حفاظت محل انبار مصالح برای جلوگیری از آلودگی به مواد مضر
- ۲- کنترل و تأیید مصالح در محل انبار از نظر دانه‌بندی، رطوبت، جذب آب، مقاومت در برابراسیدو حضور رس‌های متورم شونده
- ۳- کالیبره وسایل توزین مصالح
- ۴- نمونه گیری از بتن گوگردی حاصله جهت انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری، جذب آب، دانشیته و غیره

سنگدانه‌ها باید انقدر داغ شوند که مخلوط نهائی بتن گوگردی دمای ۱۳۲°C تا ۱۴۱°C را دارا شود. بطور کلی وقتی سیمان پودری جامد بکار می‌رود دمای سنگدانه باید ۱۷۷°C تا ۲۰۴°C باشد تا دمای مورد نظر در مخلوط حاصل گردد.

۲-۴-۳- وسیله اختلاط و حمل

نیاز‌های ملزمات اختلاط و حمل با خواص منحصر بفرد و ترمопلاستیک بتن گوگردی بشرح زیر در ارتباط است.

- ۱- بتن گوگردی باید به صورت مذاب در محدوده باریکی از دما باقی بماند.
- ۲- مخلوط بتن گوگردی باید بخوبی در هم شود به نحوی که سیمان گوگردی مذاب بقدر کافی روی سطح سنگدانه‌های ریز و درشت و پر کننده‌ها را بپوشاند و باید حداقل جدا شدگی را دارا باشد. ملاحظات ویژه‌ای باید بصورت اقلام زیر برای داشتن کنترل کیفی خوب در نظر گرفته شود.
الف) مصالح باید در موارد زیر توزین گردد:

۱- شن و ماسه داغ شده

۲- سیمان گوگردی اصلاح شده و یا گوگرد و ماده غلیظ اصلاح کننده

۳- پرکننده ریز معدنی، خاکستر بادی (نوع F)، گرد سیلیس (افروزن پرکننده‌ها پس از گوگرد، از بروز مشکل غبار و گلوله شدن با کلوخه شدن پرکننده‌ها جلوگیری می نماید .

۴- الیاف (در صورت نیاز به مصرف)

ب) دمای مخوط دائمًا باید اندازه‌گیری و مشخص گردد تا از کاهش یا افزایش بی مورد دما جلوگیری شود. با این عمل و تنظیم مشعل (از نظر تغذیه سوخت) می‌توان دما را در محدوده باریکی نگهداشت تا در هنگام ریختن از مشکلات ناشی از کاهش یا افزایش دما در امان باشیم .

ج) بتن گوگردی ظاهري سفت و خشک را در دمای بالاتر از ۱۴۹ °C از خود بروز می‌دهد و پیمانکار نباید تلاش کند گوگرد اضافی به داخل دیگ مخلوط کن یا حمل بریزد. در چنین موردي دما باید کنترل و کاهش یابد و اینکار در اسرع وقت با مشخص شدن اضافه دما انجام گیرد. در این حالت چنانچه میزان سیمان گوگردی اضافه شده در ابتدا صحیح باشد بتن گوگردی با کاهش دما و رسیدن به دمای مناسب، سیالیت و کارائی بیشتری را بدست خواهد آورد.

۲-۴-۴- قالب بندی و مسلح نمودن

هر دو نوع قالب چوبی و فلزی می‌تواند بکار رود. سطح قالب باید با مواد نفتی اصلاح شده آغشته گردد. این عمل برای سطوح قائم و دیواره‌ها لازم است اما برای قالب دال ضرورت ندارد. وقتی از قالب فولادی در سطح بزرگ استفاده می‌شود باید آنرا گرم نمود تا از ایجاد یک پوسته سطحي سیمان گوگردی بدليل گیرش ناگهانی آن در سطح قالب جلوگیری نمود.

بتن گوگردی را می‌توان با میلگردهای فولادی درجه ۶۰ (ASTM A616,617,706) و یا میلگردهای با پوشش اپوکسی (ASTM A775) مسلح نمود و میلگرد با گوگرد اصلاح شده واکنش نمی‌دهد. همچنین می‌توان از الیاف شیشه‌ای جهت مسلح نمودن استفاده نمود. جزئیات میلگرد گذاری با بتن معمولی یکسان است. فاصله بین قالب و میلگردهای فولادی باید کمی افزایش یابد تا از بروز مشکل در هنگام ریختن و انجماد بتن گوگردی در این محل جلوگیری شود. راه حل دیگر بجای افزایش فاصله قالب و میلگرد، گرم نمودن

قالب و میلگردها با وسایل گرمایشی غیر مستقیم مانند اشعه مادون قرمز قبل از ریختن بتن گوگردی در قالب است.

الیاف شیشه بعنوان عامل کنترل کننده ترکهای ناشی از جمع شدگی و بهبود خواص شکلپذیری و مقاومت در برابر ضربه در رابطه با کاربردهای کارگاهی بسیار مؤثر بوده است. استفاده از الیاف شیشه‌ای ۱۳ تا ۳۸ میلی متری به مقدار تقریبی ۹ تا ۱۲ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن گوگردی توصیه شده است. اطلاعات بیشتر را باید از نشریه شماره ۸۹۶۵ گزارش تحقیقات در بررسیهای اداره معادن وزارت کشور ایالات متحده بدست آورد.

۲-۴-۵- ریختن جایدهی و پرداخت

۲-۴-۵-۱- کلیات

نکات کلیدی در ریختن و پرداخت موقیت آمیز بتن گوگردی داشتن دمای ۱۳۲ تا ۱۴۱^{۰C} در لحظه ریختن و سرعت در ریختن و جایدهی و پرداخت بتن می‌باشد. فرعون و دمپر می‌تواند برای حمل بتن گوگردی داغ و ریختن در داخل قالب بکار رود. هر چند عایق بندی این وسایل ممکن می‌باشد اما ضروری نیست. این وسایل باید تا حدی پر شود که خطري را برای کارگران در هنگام حمل نداشته باشد و سریعاً تخلیه گردد. بتن گوگردی باید تا حد امکان به سرعت ریخته شود به نحوی که تراکم و پرداخت آن در حالیکه هنوز داغ است امکان پذیر گردد.

۲-۴-۵-۲- اجراء کف

تراکم و ضربه زدن و پرداخت بتن گوگردی می‌تواند با وسایل دستی و مشابه بتن معمولی انجام شود. مسلماً امکانات و وسایل و افراد باید بقدر کافی تأمین شود تا بتوان دال کف را با ضخامت مورد نظر به نحوی ریخت تا سرد نگردد. حداکثر ضخامت دال معمولاً به قدرت اجرائی افراد وسایل برای ریختن و پرداخت بتن در حالیکه داغ است محدود می‌شود. می‌توان دال را با یک شمشه و ماله ساده بصورت دستی متراکم نمود و اینکار را با زدن ضربه انجام داد. در مورد دالها استفاده از ویبراتورهای خرطومی معمولاً ضرورت ندارد اما ماله لرزنده می‌تواند در دستیابی به سطح صاف موثر است.

وقتی دال را با زدن ضربه توسط ماله متراکم می نماییم با توجه به دمای محیط مجاور فرصت کمی (در حدود چند دقیقه) برای اینکار وجود دارد. وقتی دال را با ضخامت ۵ سانتی‌متر می‌ریزیم بین ۲ تا ۱۰ دقیقه برای پرداخت سطح فرصت داریم و گرنه سطح آن شروع به سخت شدن می‌کند. در دالی به ضخامت ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر زمانی در حدود ۵ تا ۲۰ دقیقه بصورت فرصت کاری وجود دارد. کشیدن ماله در سطح در یکنوبت وقتی بتن هنوز بصورت سیال و مذاب است کافی می‌باشد. از ماله‌های چوبی و فلزی مرغوب می‌توان به این منظور استفاده نمود. اگر سطح شروع به سرد و سخت شدن نماید در حین ماله کشی بریده بریده می‌شود و پرداخت بدی حاصل می‌گردد. در اینصورت می‌توان با یک مشعل گاری کوچک می‌توان سطح را گرم نمود و بصورت مذاب درآورد و مجدداً آنرا پرداخت نمود.

وقتی سطح بتن گوگردی را با ماله صاف می‌کنیم، لایه‌ای از سیمان گوگردی و مواد ریز به سطح ماله می‌چسبد و سخت می‌گردد. پرداخت کننده سطح باید در کنار خود سطلي از آب داشته باشد و ماله را سریعاً در آب خنک فروبرد تا موجب گیرش سریع سیمان گوگردی چسبیده به سطح شود سپس ماله را محکم به سطح سخت می‌زنیم تا گوگرد و ملات ترد آن خرد و جدا شود.

اگر بتن گوگردی سهواً در جائی ریخت که ریختن آن در آن لازم نبوده است نباید اصرار داشت تا با سرعت آنرا از سطح مزبور جدا کرده و برداریم زیرا لایه نازکی از آن باقی خواهد ماند بلکه لازمست اجازه دهیم بتن در محل مزبور کاملاً سرد و سخت گردد سپس با یک میله یا دیلم یا بیل به آن ضربه می‌زنیم تا خرد شده و جدا گردد در این حالت اثر آن ناخوشایند نیست. سطح نهائی تمام شده و پرداخت شده با ماله در این نوع بتن‌ها برای بیشتر کارها مناسب است. سطح دال بتن گوگردی سخت شده، توپر قابل شستشو و مقاوم در برابر سایش می‌باشد.

۳-۵-۴-۲ - ساخت دیوار

به دلائل مختلفی که ذکر شد در ساخت دیوار باید به نکاتی توجه نمود. گرم کردن قالب و میگردها با وسائل گرمایشی مناسب بویژه لامپهای مادون قرمز قبل از ریختن بتن برای جلوگیری از سرد شدن و گیرش ناگهانی ضروری است. عایق بندی دیواره قالب برای جلوگیری از اتلاف سریع دما می‌تواند مؤثر باشد و اجازه کار طولانی مدت و بیشتری را به ما بدهد.

چرب کردن سطوح قالب با موادی مناسب و برپایه مواد نفی ضرورت دارد تا قالب ها به آسانی جدا و آزاد گردد. استفاده از ویبرانور خرطومی ضعیف و به مدت کم می‌تواند مفید باشد اما افزایش زیاد می‌تواند به جاذبگی بیانجامد.

لرزاننده‌های خارجی و متصل شونده به قالب بصورت مؤثری برای تراکم دیوار بکار رفته است.

۴-۵-۲- بتن ریزی سطوح و زمینهای شبیدار

بتن ریزی روی سطوح شبیدار با محدودیت جدی روبرو می‌باشد. تجربیات اخیر نشان می‌دهد که می‌توان روی سطوحی با شب ۱/۶ تا ۶/۵ درصد را با بتن گوگردی حاوی سنگانه‌های تیزگوش و کنترل ویژگی‌های زیر بتن ریزی نمود.

۱- اگر بتن گوگردی دارای پودر سیلیس بعنوان پرکننده باشد می‌توان آنرا روی سطوحی با شب بیشتر ریخت در حالیکه با استفاده از خاکستر بادی نمی‌توان اینکار را بخوبی انجام داد. مخلوطهای حاوی گرد سیلیس معمولاً خمیری و سفت تر بوده و از سیالیت و روانی کمتری برخوردار است.

۲- مشکل روان شدگی و سیالیت زیاد را می‌توان با کاهش میزان مصرف سیمان گوگردی در مخلوط کنترل نمود.

۳- احتمالاً با کنترل دمای زیز می‌توان به روانی کمتر دست یافت تا بتوان سطح شبیدار را بتن ریزی نمود.

۶-۴-۲- تعمیر سطوح آسیب دیده

اگر سطح بتن خوب پرداخت نشده باشد و یا بدلایلی سطح آن آسیب دیده باشد می‌توان با حرارت دادن این سطوح مجددآ نرا پرداخت نمود و سطح مناسبی را بدست آورد. با استفاده از حرارت دهی غیر مستقیم مانند لامپهای مادون قرمز می‌توان اینکار را بخوبی انجام داد اما باید در اینکار تسریع بعمل آورد. توصیه می‌شود از وسایل حرارتی مستقیم و متمرکز استفاده نگردد، زیرا حرارت مستقیم و متمرکز بر سطح بتن گوگردی سرد و سخت می‌تواند به بروز ترک بویژه در مقاطع نازک منجر شود.

می‌توان حفرات ، فرورفتگی‌ها و بریدگی‌ها و سوراخهای موجود در سطح بتن را با استفاده از بتن گوگردی ریخته شده و یا حرارت دهنده مجدد سطح مزبور اصلاح و پرداخت شود.

۲-۵ - درزها و درزگیرها

درزها برای کنترل ترک خوردن (جمع شدگی) و انبساط و انقباض حرارتی و اجرائی لازمست موقعیت درزها باید با ملاحظه نوع کار و سایر ملاحظات مشخص گردد. معمولاً عرض یک قطعه به حدود ۳/۷۱ متر بدلیل محدودیت در پرداخت محدود می‌شود.

فاصله ترکهای جمع شدگی معمولاً بر حدود ۳۵ برابر ضخامت دال محدود می‌شود. ترکهای انقباضی (جمع شدگی) معمولاً ۶ تا ۹ میلی متر عرض را دارا می‌باشد و عمق آن ۲۰ تا ۲۵ درصد ضخامت دال است (حداقل عمق).

اگر درز اجرائی (ساخت) در پایان عملیات اجرائی ریختن بتن بکار رود گذاشتن کلیه برشی مفید است اما ضروري نیست درزهای انبساط معمولاً ۱۰ تا ۱۳ میلی متر عرض دارند تا بتوانند از بروز تنشهای حرارتی در دالها جلوگیری کنند.

حداکثر فاصله درزهای انبساط به حدود ۱۸ متری برای مخلوطهای عادی محدود می‌شود. اگر مقادیر سیمان گوگردی بیش از ۱۸ درصد وزن بتن باشد حداکثر فاصله درزها باید کاهش یابد. از مواد قیری اشباع شده از الیاف که منطبق با ASTM D ۱۷۵۱ می‌توان بصورت رضایت بخش استفاده نمود. درزگیر انعطاف پذیر سازگار با شرایط محیطی طبق ACIS ۰۴ (راهنمای مصرف درزگیرها برای سازه‌های بتونی) می‌تواند بکار رود اما عمق ماده درزگیر در درز نباید از عرض آن بیشتر شود. در زیراين مواد باید از پرکننده‌های استفاده کرد که مصرف اين ماده در عمق محدود شود (فوم‌های پلی اتیلن) و ماده درزگیر از زیر درز نریزد.