دانشگاه سیستان و بلوچستان

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته عمران گرایش سازه

تاثیر پرکننده ماسه بادی بر مقاومت کششی و فشاری بتن گوگردی

اساتید راهنما:

دکتر محمد رضا قاسمی

دکتر حسن حاجی کاظمی

استاد مشاور:

دکتر محمد رضا سهرابی

تحقیق و نگارش:

حمید فروغی پور

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره‌مند شده است.)

آذر ۱۳۸۸

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان تاثیر پرکننده ماسه بادی بر مقاومت کششی و فشاری بتن گوگردی قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد سازه توسط حمید فروغی پور تحت راهنمایی آقایان دکتر محمدرضا قاسمی و دکتر حسن حاجی کاظمی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

حمید فروغی پور

این پایان نامه شش واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۱۳۸۸/۱۰/۹ توسط هیئت داوران بررسی و درجه به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر محمد رضا قاسمی		
استاد راهنما:	دکتر حسن حاجی کاظمی		
استاد مشاور:	دکتر محمد رضا سهرابی		
داور ۱:	دکتر غلامحسین اکبری		
داور ۲:	دکتر عباس کرم الدین		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر مرتضی زیودار		

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب حمید فروغی پور تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

حمید فروغی پور

تقدیم به:

آقا علی بن موسی الرضا

و

پدر و مادری که هرچه دارم از آنان دارم،

آنان که هستی خویش را سرمایه وجودم کردند و الفبای زیستن را به من آموختند و با تلاش بی وقفه و حمایت بی دریغ خود، راه تحصیل را برایم هموار نمودند. به امید جبران قطره‌ای از اقیانوس بیکران الطافشان

سپاسگزاری

تقدیر و سپاس از راهنمایی های ارزشمند اساتید عزیز، آقایان دکتر حسن حاجی کاظمی و دکتر محمد رضا قاسمی که بدون استفاده از نظرات اینان پایان رسانیدن این امر، سخت و دشوار بود و نیز تقدیر از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدرضا سهرابی که مشاوره این کار را به عهده گرفته و مرا مرهون الطاف خویش قرار دادند.

از دوستان عزیز و گرامی آقایان دکتر ابوالفضل محمدزاده و مهندس احمد خالق زاده که در تمامی مراحل انجام آزمایشات و نگارش پایان‌نامه، بنده را همراهی کردند سپاسگزاری می‌کنم.

چکیده:

گوگرد یکی از عناصر مهم است که در بخش های مختلف صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سال ۱۹۷۰ با توجه به تولید بیشتر و کاهش شدید قیمت گوگرد، اشتیاق و علاقه زیادی برای استفاده از گوگرد به عنوان یک ماده ساختمانی به وجود آمد.گوگرد به دو صورت در ساختمان استفاده می‌شود: بتن با گوگرد نفوذی و بتن گوگردی.

در نوع اول گوگرد به بتن معمولی حاوی سیمان پرتلندی افزوده می‌شود. اما در بتن گوگردی اثری از آب و سیمان نبوده، بلکه ماده چسباننده سنگدانه‌ها، گوگرد مذاب است.

در این رساله اثر پرکننده ماسه بادی بر مقاومت فشاری و کششی بتن گوگردی اصلاح نشده بررسی شده است. برای این منظور ابتدا چگال‌ترین ترکیب درشت‌دانه‌ها به روش متراکم‌ترین حجم یعنی ترکیب ۴۴ درصد وزنی شن و ۵۶ درصد وزنی ماسه به دست آمد. سپس بتن گوگردی با ترکیب سنگ‌دانه‌های قبلی و در ۴ گروه حاوی ۲۵، ۲۷/۵، ۳۰ و ۳۲/۵ درصد گوگرد و ۶ گروه حاوی ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ درصد ماسه بادی به عنوان پرکننده ساخته شده و برای سنجش مقاومت فشاری در قالب‌های مکعبی با بعد ۱۰ سانتی‌متر و برای سنجش مقاومت کششی در قالب‌های دمبلی شکل ریخته شد. پس از شکست نمونه ها مقاومت ها در جداولی وارد شده و نمودارهای مربوطه ترسیم گردید. با توجه به نتایج کسب شده بتن گوگردی حاوی ۳۰ درصد گوگرد بهترین نتایج مقاومت فشاری و کششی را کسب کرده است. از طرفی مقاومت کسب شده در نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد گوگرد نیز نتایج مطلوبی کسب کرده‌اند.

کلمات کلیدی: بتن گوگردی، طرح اختلاط، مقاومت کششی، مقاومت فشاری، پرکننده، ماسه بادی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	**۱**
۱-۱ کلیات	۲
۱-۲ میزان تولید گوگرد	۲
۱-۲-۱ میزان تولید گوگرد در ایران	۲
۱-۲-۲ میزان تولید گوگرد در جهان	۴
۱-۳ میزان مصرف گوگرد در ایران	۶
۱-۴ گوگرد مازاد بر نیاز و راه‌های بهره‌گیری مناسب از این محصول	۶
۱-۴-۱ کاربرد گوگرد در صنعت	۷
۱-۵ خواص گوگرد	۸
۱-۵-۱ خواص فیزیکی گوگرد	۸
۱-۵-۲ خواص شیمیایی گوگرد	۹
۱-۶ کانی‌ها و انواع گوگرد	۱۶
۱-۶-۱ گوگرد آلفا	۱۶
۱-۶-۲ گوگرد بتا	۱۷
۱-۶-۳ گوگرد گاما یا گوگرد پلاستیک	۱۷
۱-۶-۴ گوگرد بی‌شکل یا کلوئیدی یا گوگرد دلتا	۱۷
۱-۶-۵ گوگرد طبیعی	۱۷
۱-۷ تأثیرات زیست محیطی گوگرد	۱۸
۱-۸ روش‌های معمول جداسازی گوگرد	۱۹
۱-۹ نگهداری و ترابری گوگرد پودری	۲۰
۱-۱۰ کاربردهای بتن گوگردی	۲۰
۱-۱۰-۱ المان‌های پیش ساخته	۲۰
۱-۱۰-۲ محفظه زباله‌های خطرناک و آلوده کننده	۲۱
۱-۱۰-۳ تاسیسات جمع آوری فاضلاب	۲۲
۱-۱۰-۴ تراورس بتنی	۲۲

۱-۱۰-۵ ساخت صخره‌های مرجانی ۲۳
۱-۱۰-۶ روکش‌های سطحی و یا کف ۲۴
۱-۱۰-۷ ترمیم بتن سیمان پرتلندی به وسیله بتن گوگردی ۲۴
۱-۱۱ نمونه‌هائی از پروژه‌های تعمیر شده با بتن گوگردی ۲۵

فصل دوم:تاریخچه تحقیقات ۲۷
۲-۱ مقدمه ۲۸
۲-۲ خواص گوگرد مورد نیاز جهت ساخت بتن گوگردی ۳۰
۲-۳ تحقیقات بر روی دانه‌بندی مناسب برای ساخت بتن گوگردی ۳۲
۲-۳-۱ استفاده از سهمی‌های فولر برای دستیابی به دانه‌بندی مناسب‌تر ۳۳
۲-۳-۲ دانه‌بندی بر اساس متراکم‌ترین حجم ۳۵
۲-۴ دانه‌بندی پیشنهادی ACI برای ساخت بتن گوگردی ۳۹

فصل سوم: روش ساخت و اجرای بتن گوگردی ۴۸
۳-۱ مقدمه ۴۹
۳-۲ روند مناسب اختلاط و تولید بتن گوگردی ۴۹
۳-۳ تجهیزات تولید ۵۵
۳-۴ کارآئی بتن ۵۵
۳-۵ قالب‌بندی و مسلح کردن بتن گوگردی ۵۶
۳-۵-۱ قالب‌بندی ۵۶
۳-۵-۲ مسلح کردن ۵۶
۳-۶ شرایط محیطی مطلوب برای ریختن بتن گوگردی ۵۷
۳-۶-۱ عامل دما ۵۷
۳-۶-۲ عامل باد ۵۷
۳-۶-۳ عامل رطوبت ۵۸
۳-۷ چگونگی ویبره‌زدن و تراکم بتن گوگردی ۵۸
۳-۸ پرداخت بتن گوگردی ۵۹
۳-۸-۱ پرداخت سطوح افقی ۵۹

۳-۸-۲ پرداخت سطوح قائم ۵۹
۳-۸-۳ پرداخت سطوح شیبدار ۶۰

فصل چهارم: تاثیر طرح اختلاط بر مقاومت بتن گوگردی ۶۱
۴-۱ مقدمه ۶۲
۴-۲ نقش پرکننده‌ها در بتن گوگردی ۶۳
۴-۳ اثر میزان ماسه بادی در گروه‌های مختلف حاوی گوگرد یکسان بر مقاومت کششی و فشاری ۶۴
۴-۳-۱ بررسی نمونه‌های حاوی ۲۵٪ وزنی گوگرد ۶۵
۴-۳-۲ بررسی نمونه‌های حاوی ۲۷/۵٪ وزنی گوگرد ۶۹
۴-۳-۳ بررسی نمونه‌های حاوی ۳۰٪ وزنی گوگرد ۷۲
۴-۳-۴ بررسی نمونه‌های حاوی ۳۲/۵٪ وزنی گوگرد ۷۵
۴-۴ اثر میزان گوگرد در گروه‌های مختلف حاوی ماسه بادی یکسان بر مقاومت کششی و فشاری ۷۸
۴-۴-۱ بررسی نمونه‌های حاوی ۶٪ وزنی ماسه بادی ۷۸
۴-۴-۲ بررسی نمونه‌های حاوی ۸٪ وزنی ماسه بادی ۸۱
۴-۴-۳ بررسی نمونه‌های حاوی ۱۰٪ وزنی ماسه بادی ۸۳
۴-۴-۴ بررسی نمونه‌های حاوی ۱۲٪ وزنی ماسه بادی ۸۵
۴-۴-۵ بررسی نمونه‌های حاوی ۱۴٪ وزنی ماسه بادی ۸۸
۴-۴-۶ بررسی نمونه‌های حاوی ۱۶٪ وزنی ماسه بادی ۹۰
۴-۵ بررسی نمونه‌های بتن سیمان پرتلندی ۹۳

فصل پنجم: مقایسه مقاومت کششی و فشاری بتن گوگردی و بتن سیمان پرتلندی ۹۵
۵-۱ مقدمه ۹۶
۵-۲ منحنی‌های بار- تغییر مکان بتن گوگردی ۹۷
۵-۳ مقاومت‌های فشاری ۱۰۱
۵-۴ مقاومت در برابر محیط‌های اسیدی و نمکی ۱۰۳
۵-۵ مقاومت در برابر جذب آب ۱۰۵
۵-۶ گیرش سریع ۱۰۸
۵-۷ دوام در برابر یخ زدن و ذوب شدن ۱۱۰

۵-۸ ضعف در برابر آتش سوزی ۱۱۱
۵-۹ مقاومت کم در محیط‌های قلیایی ۱۱۲
۵-۱۰ مقاومت مناسب در سیکل‌های حرارتی کاربردی ۱۱۳
۵-۱۱ مقاومت در برابر خستگی ۱۱۳
۵-۱۲ عملکرد بتن گوگردی در دمای بالاتر از درجه ذوب ۱۱۴

فصل ششم: نتیجه‌گیری **۱۱۵**
۶-۱ دانه‌بندی در بتن گوگردی ۱۱۶
۶-۲ عملکرد بتن گوگردی در دماهای بالاتر از درجه ذوب ۱۱۷
۶-۳ تحقیقات آینده ۱۱۷

مراجع **۱۱۹**

فهرست جداول

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۱-۱ میزان تولید گوگرد در ایران در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۴ به نقل از World Mineral Statistics ۳

جدول ۱-۲ میزان تولید گوگرد در ایران در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۲ به نقل از USGS ۴

جدول ۱-۳ میزان گوگرد تولید شده در ایران در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۲ به نقل از World Mineral Data ۴

جدول ۱-۴ میانگین تولید گوگرد در ایران ۴

جدول ۱-۵ میزان تولید گوگرد در جهان در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ به نقل از World Mineral Statistics ۵

جدول ۱-۶ میزان تولید گوگرد در جهان در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ به نقل از USGS ۵

جدول ۱-۷ میزان گوگرد تولید شده در جهان در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ به نقل از World Mineral Data ۵

جدول ۱-۸ میانگین تولید گوگرد در جهان ۵

جدول ۱-۹ میزان مصرف گوگرد در ایران در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۳ ۶

جدول ۱-۱۰ درصد بازگشت به α پس از گذشت ۱۸ ماه در دما و فشار محیط ۱۱

جدول ۲-۱ مقاومت کششی و فشاری گوگرد در حالت جامد ۳۱

جدول ۲-۲ مشخصات درجه خلوص گوگرد واحدهای ۱و۲و۳ پالایشگاه هاشمی نژاد ۳۲

جدول ۲-۳ مقایسه مشخصات فیزیکی نمونه‌های بتن گوگردی ۳۶

جدول ۲-۴ مشخصات ماسه بادی مصرفی ۳۷

جدول ۲-۵ نسبت اجزا مخلوط‌های بتن گوگردی ۳۸

جدول ۲-۶ مشخصات بتن گوگردی تازه ۳۸

جدول ۲-۷ دانه‌بندی بر اساس ASTM D3515 ۴۰

جدول ۲-۸ میزان تخلخل و وزن حجمی ناحیه بیشینه وزن مخصوص ۴۳

جدول ۲-۹ درصد عبوری مصالح سنگی مورد استفاده در آزمایشات ۴۳

جدول ۲-۱۰ وزن مخصوص مصالح سنگی ۴۳

جدول ۲-۱۱ درصدهای عبوری سنگ‌دانه‌های متراکم‌ترین حجم با میزان ماسه بادی متنوع ۴۴

جدول ۲-۱۲ درصد عبوری از الک‌ها مطابق برخی استانداردها برای سنگ‌دانه‌های کوچک‌تر از ۱۲ میلی‌متر ۴۶

جدول ۴-۱ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۲۵٪ وزنی گوگرد ۶۶

جدول ۴-۲ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۵٪ وزنی گوگرد ۶۸

جدول ۴-۳ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۲۷/۵٪ وزنی گوگرد ۷۰
جدول ۴-۴ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۷/۵٪ وزنی گوگرد ۷۱
جدول ۴-۵ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۳۰٪ وزنی گوگرد ۷۲
جدول ۴-۶ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۳۰٪ وزنی گوگرد ۷۴
جدول ۴-۷ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۳۲/۵٪ وزنی گوگرد ۷۵
جدول ۴-۸ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۳۲/۵٪ وزنی گوگرد ۷۶
جدول ۴-۹ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۶٪ وزنی ماسه بادی ۷۸
جدول ۴-۱۰ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۶٪ وزنی ماسه بادی ۷۹
جدول ۴-۱۱ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۸٪ وزنی ماسه بادی ۸۱
جدول ۴-۱۲ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۸٪ وزنی ماسه بادی ۸۲
جدول ۴-۱۳ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۰٪ وزنی ماسه بادی ۸۳
جدول ۴-۱۴ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ وزنی ماسه بادی ۸۴
جدول ۴-۱۵ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۲٪ وزنی ماسه بادی ۸۶
جدول ۴-۱۶ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۲٪ وزنی ماسه بادی ۸۷
جدول ۴-۱۷ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۴٪ وزنی ماسه بادی ۸۸
جدول ۴-۱۸ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۴٪ وزنی ماسه بادی ۸۹
جدول ۴-۱۹ درصد وزنی و مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۶٪ وزنی ماسه بادی ۹۰
جدول ۴-۲۰ درصد وزنی و مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۶٪ وزنی ماسه بادی ۹۱
جدول ۴-۲۱ طرح اختلاط و نتایج مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن با سیمان پرتلندی ۹۳
جدول ۴-۲۲ طرح اختلاط و نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن با سیمان پرتلندی ۹۳
جدول ۵-۱ مقایسه بین خواص مهم بتن‌های معمولی، پلی استری و گوگردی اصلاح شده و اصلاح نشده ۱۰۲
جدول ۵-۲ نتایج آزمایش اثر اسید سولفوریک در دمای $60^{\circ}C$ بر نمونه‌های بتن گوگردی ۱۰۴
جدول ۵-۳ میزان جذب آب بتن گوگردی در مقایسه با بتن سیمان پرتلندی ۱۰۶
جدول ۵-۴ خواص بتن گوگردی (با سنگ‌دانه‌های کوچک‌تر از یک اینچ) ۱۰۷
جدول ۵-۵ نتایج آزمایش جذب آب برای نمونه‌های مختلف بتن گوگردی به صورت متوسط ۱۰۸
جدول ۵-۶ نتایج آزمایش اثر سود بر روی نمونه‌های بتن گوگردی ۱۱۲
جدول ۵-۷ مقاومت فشاری نمونه اولیه و نمونه بازیافت شده ۱۱۴

فهرست شکل ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱ نمودار میزان تولید گوگرد ایران طبق داده‌های جدول ۱-۱ ۳

شکل ۱-۲ نمودار میزان تولید گوگرد جهان طبق داده‌های جدول ۱-۸ ۶

شکل ۱-۳ میزان مصرف گوگرد در ایران در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۳ ۷

شکل ۱-۴ فرم اتمی عنصر گوگرد ۹

شکل ۱-۵ برخی از اشکال زنجیری گوگرد ۹

شکل ۱-۶ تصویری از زنجیر گوگرد S_8 تاجی شکل ۱۰

شکل ۱-۷ بخشی از کریستال‌های گوگرد در حالت اورترومبیک ۱۰

شکل ۱-۸ نمودار میزان بازگشت به حالت اولیه در اثر گذشت زمان ۱۱

شکل ۱-۹ نمودار افزایش شدید ویسکوزیته گوگرد در دمای $160^{\circ}C$ ۱۲

شکل ۱-۱۰ کاهش ویسکوزیته پس از دمای $200^{\circ}C$ ۱۳

شکل ۱-۱۱ افزایش و کاهش ویسکوزیته و ظرفیت گرمایی ویژه گوگرد در دماهای گوناگون ۱۳

شکل ۱-۱۲ تغییرات فازی گوگرد در فشارهای پایین برحسب دما ۱۴

شکل ۱-۱۳ تغییرات فازی گوگرد در فشارهای بالا برحسب دما ۱۴

شکل ۱-۱۴ تغییرات فازی گوگرد در فشارهای محیط برحسب دما ۱۵

شکل ۱-۱۵ فرم شماتیک تغییرات فازی گوگرد در دماها و فشارهای گوناگون ۱۶

شکل ۱-۱۶ مخازن پیش ساخته جهت جمع آوری فاضلاب ۲۲

شکل ۱-۱۷ نمونه‌ای از کارهای انجام شده جهت استفاده از بتن گوگردی برای ساخت تپه‌های مرجانی ۲۳

شکل ۱-۱۸ پروژه‌ای از المان‌های پیش ساخته جهت کانال‌های آب‌رسانی کشاورزی در کشور ژاپن ۲۴

شکل ۲-۱ نمودار ترسیمی بار- تغییر مکان نمونه کششی گوگرد توسط خروجی دستگاه تست کشش ۳۰

شکل ۲-۲ تصویر دستگاه تست فشار مجهز به خروجی خودکار ۳۱

شکل ۲-۳ تصویر دستگاه تست کششی نمونه‌های دمبلی شکل ۳۱

شکل ۲-۴ منحنی توزیع سنگ‌دانه‌های بین صفر تا ۸ میلی‌متری برای بتن سیمانی ۳۴

شکل ۲-۵ منحنی توزیع سنگ‌دانه‌ها برای بتن گوگردی بر اساس سهمی‌های فولر ۳۴

شکل ۲-۶ نمودار وزن مخصوص مخلوط شن و ماسه برحسب درصد شن موجود ۳۷

شکل ۲-۷رابطه سن و مقاومت فشاری بتن‌های گوگردی ۳۹
شکل ۲-۸ تغییرات وزن مخصوص توده مصالح سنگی برحسب درصد شن ۴۲
شکل ۲-۹ مقایسه برخی از دانه‌بندی‌های ارائه شده ASTM برای سنگ‌دانه‌های کوچک‌تر از ۱۲ میلی‌متر ۴۵
شکل ۲-۱۰ مقایسه برخی از دانه‌بندی‌های ارائه شده با حدود بهینه منحنی‌های فولر برای سنگ-دانه‌های کوچک‌تر از ۱۲ میلی‌متر ۴۵
شکل ۳-۱ ظرف اختلاط و نحوه گرمادهی آن ۵۰
شکل ۳-۲ کوره ذوب فلزات و نحوه ذوب گوگرد ۵۰
شکل ۳-۳ منحنی اثر دما بر ویسکوزیته گوگرد در فشار محیط ۵۳
شکل ۳-۴ تصویری از اختلاط در دمای ۲۰۰°C که کل گوگرد تبخیر گردیده است ۵۴
شکل ۳-۵ تصویری از پرداخت بتن گوگردی ۵۹
شکل ۴-۱ قسمتی از نمونه‌های ساخته شده ردیف‌های حاوی ۲۵ و ۲۷/۵ درصد وزنی گوگرد ۶۴
شکل ۴-۲ حد پایین پرکننده که در این حالت می‌توان جاری شدن گوگرد مذاب را مشاهده نمود ۶۵
شکل ۴-۳ حد بالای پرکننده که منجر به ثابت ماندن گوگرد مذاب در حال اختلاط شده است ۶۶
شکل ۴-۴ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۲۵٪ وزنی گوگرد ۶۷
شکل ۴-۵ تصاویر مربوط به قبل و بعد از باز کردن قالب نمونه ۶۷
شکل ۴-۶ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۵٪ وزنی گوگرد ۶۸
شکل ۴-۷ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۲۷/۵٪ وزنی گوگرد ۷۰
شکل ۴-۸ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲۷/۵٪ وزنی گوگرد ۷۱
شکل ۴-۹ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۳۰٪ وزنی گوگرد ۷۳
شکل ۴-۱۰ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۳۰٪ وزنی گوگرد ۷۴
شکل ۴-۱۱ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۳۲/۵٪ وزنی گوگرد ۷۶
شکل ۴-۱۲ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۳۲/۵٪ وزنی گوگرد ۷۷
شکل ۴-۱۳ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۶٪ پرکننده ماسه بادی ۷۹
شکل ۴-۱۴ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۶٪ پرکننده ماسه بادی ۸۰
شکل ۴-۱۵ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۸٪ پرکننده ماسه بادی ۸۱
شکل ۴-۱۶ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۸٪ پرکننده ماسه بادی ۸۲
شکل ۴-۱۷ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۰٪ پرکننده ماسه بادی ۸۴

شکل ۴-۱۸ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۰٪ پرکننده ماسه بادی ۸۵
شکل ۴-۱۹ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۲٪ پرکننده ماسه بادی ۸۶
شکل ۴-۲۰ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۲٪ پرکننده ماسه بادی ۸۷
شکل ۴-۲۱ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۴٪ پرکننده ماسه بادی ۸۸
شکل ۴-۲۲ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۴٪ پرکننده ماسه بادی ۸۹
شکل ۴-۲۳ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی نمونه های حاوی ۱۶٪ پرکننده ماسه بادی ۹۰
شکل ۴-۲۴ تاثیر میزان پرکننده بر مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۱۶٪ پرکننده ماسه بادی ۹۱
شکل ۴-۲۵ تاثیر میزان گوگرد مصرفی در نسبت پرکننده به گوگرد ۹۲
شکل ۵-۱ منحنی بار- تغییر مکان توسط خروجی دستگاه پرس فشاری با پله‌های افزایشی تغییر مکان ۹۸
شکل ۵-۲ تصویری از دستگاه پرس فشاری با حساسیت به میزان تغییر مکان در واحد زمان ۹۸
شکل ۵-۳ منحنی بار- تغییر مکان نمونه‌هایS3F1 الف) هر نمونه به صورت مجزا؛ ب) هر سه نمونه باهم ۹۹
شکل ۵-۴ منحنی بار- تغییر مکان نمونه‌های S3F2 الف) هر نمونه به صورت مجزا؛ ب) هر سه نمونه باهم ۱۰۰
شکل ۵-۵ خوردگی بتن با سیمان پرتلندی تحت اثر اسید سولفوریک ۹۸٪ و در دمای محیط ۱۰۳
شکل ۵-۶ تصویری پس از غوطه‌وری بتن گوگردی و سیمانی در اسید سولفوریک ۵۰٪ ۱۰۵
شکل ۵-۷ نمودار اثر زمان بر مقاومت فشاری بتن گوگردی ۱۰۹
شکل ۵-۸ نمودار میزان بازگشت به حالت اولیه در اثر گذشت زمان ۱۰۹
شکل ۵-۹ مقایسه آب‌رفتگی و سرعت امواج Ultrasound در چند ساعت اول پس از ریختن نمونه‌های بتن گوگردی ۱۱۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱ کلیات

در دو دهه اخیر دسترسی به گوگرد در بسیاری از کشورها به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. محدودیت‌های زیست محیطی در کاهش مقدار گوگرد موجود در گاز و نفت سبب این افزایش شده است. این محدودیت‌ها و نیز در دسترس بودن مقادیر فراوان گوگرد سبب شد تا کاربردهای جدیدی برای گوگرد ایجاد گردد. بتن گوگردی یکی از این کاربردهاست که با ترکیب نسبتاً ساده خواص جالبی دارد. مقاومت بالا در برابر مواد شیمیایی، مقاومت مکانیکی خوب و نیز گیرش سریع سبب شده تا بتن گوگردی تبدیل به یک ماده مناسب با کارایی فراوان شود. این کارایی به خصوص در مواردی بوده که مواد دیگر ساختمانی جوابگوی نیازها نبوده است[۱].

گوگرد برای نخستین بار در ادوار کهن در سیسیل توسط یونانی‌ها و رومی‌ها کـه اطلاعـاتی از وجـود آن داشـتند، کشف شد. این ماده برای سفید کردن ساختمان‌ها و نقاشی غارها از دو هزار سال پیش مورد اسـتفاده قـرار مـی‌گرفتـه است[۲].

۱-۲ میزان تولید گوگرد

برای محاسبه میزان گوگرد مازاد بر نیاز، بایستی میزان دقیق تولید در صنایع، معـادن و پالایـشگاه‌هـا تعیـین گـردد. از طرفی میزان مصرف گوگرد در صنعت و کشاورزی نیز تعیین می‌گردد. باقی‌مانده گوگرد تولیدی را گوگرد مازاد گوینـد. در ادامه مشخص خواهد شد که میزان گوگرد مازاد بر نیاز بیش از نیمی از میزان تولید است. بـا توجـه بـه ایـن حجـم عظیم گوگرد مازاد، تحقیقات به سمت مصارف جدیدی از گوگرد پیش رفته که یکی از نتایج آن بتن گوگردی است.

۱-۲-۱ میزان تولید گوگرد در ایران

وجود گوگرد در ایران قدمت دیرینه‌ای داشته است به حدی که در فرهنگ قدیم مردم ایران مثلی تحت عنوان «گوگرد به فارس بردن»، که کنایه‌ای است، هم‌وزن زیره به کرمان بردن داشته‌ایم.

با وجود این قدمت، متاسفانه در ایران و در برخی کشورهای دیگر آمار یکنواخـت و همـاهنگی از وضـعیت تولیـد و صادرات گوگرد موجود نمی‌باشد. شاید این موضوع به دلیل عـدم همکـاری واحـدهای تولیـدکننـده و کاسـتی در امـر اطلاع‌رسانی باشد. این در حالی است که امروزه میزان دقیق تولید اکثر مواد معدنی در اختیار کـاربران ایـن مـواد قـرار

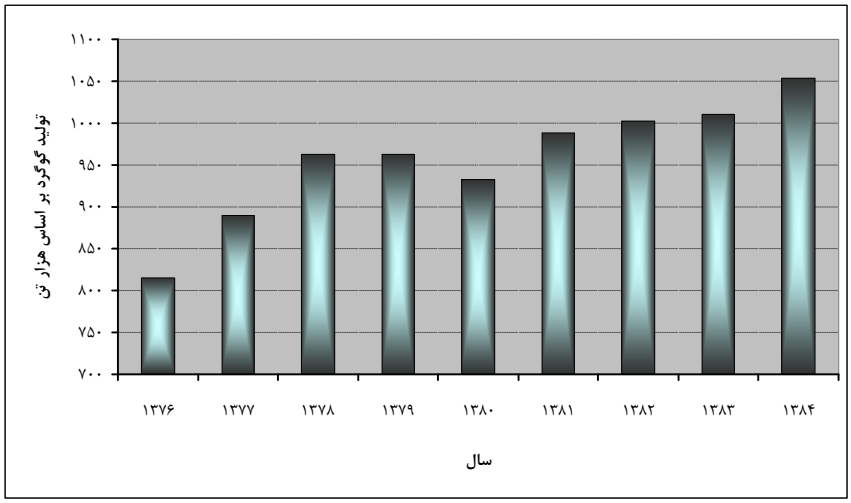
دارد. در برخی واحدها میزان تولید گوگرد از طریق محاسبه درصدی از نفت و یا گاز تولیدی محاسبه می‌گردد؛ از این-رو خطاهایی نیز وارد خواهد شد.

عمده‌ترین تولیدکنندگان گوگرد در ایران مجتمع گاز پارس جنوبی، مجتمع پتروشیمی رازی بندر امام، مجتمع خارک، پالایشگاه شهید هاشمی نژاد، پالایشگاه اصفهان و مجتمع مس سرچشمه می‌باشند.

با توجه به مطالب بالا، در آمارهای تولید گوگرد بهتر به نظر رسید که این میزان توسط سه منبع مطرح گردیده و میانگین آن‌ها مطابق جدول ۱-۴ به عنوان میزان تولید معرفی شود. از سوی دیگر برای روشن شدن سهم تولید ایران نسبت به تولید جهانی، میزان تولید جهان نیز از طریق سه منبع مزبور در قسمت های بعدی آورده شده است.

جدول ۱-۱ میزان تولید گوگرد در ایران در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۴ به نقل از World Mineral Statistics [۲]

سال	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴
تولید ایران (هزار تن)	۸۱۵	۸۸۹	۹۶۳	۹۶۳	۹۳۳	۹۸۸	۱۰۰۲	۱۰۱۱	۱۰۵۴



شکل ۱-۱ نمودار میزان تولید گوگرد ایران طبق داده‌های جدول ۱-۱ [۲]

جدول ۱-۲ میزان تولید گوگرد در ایران در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۲ به نقل از USGS [۲]

سال	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲
تولید ایران (هزار تن)	۹۰۰	۹۰۰	۹۱۰	۱۲۵۰	۹۸۲	۱۰۰۰	۱۱۰۰

جدول ۱-۳ میزان گوگرد تولید شده در ایران در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۲ بر حسب هزار تن به نقل از World Mineral Data [۲]

سال	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲
تولید ایران (هزار تن)	۱۱۲۰	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۱۹۳۰	۲۰۱۰

جدول ۱-۴ میانگین تولید گوگرد در ایران [۲]

سال	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲
تولید ایران (هزار تن)	۹۴۵	۹۹۶	۱۰۵۸	۱۳۰۴	۱۲۳۹	۱۳۰۶	۱۳۷۱

۱-۲-۲ میزان تولید گوگرد در جهان

با افزایش تولید سوخت‌های فسیلی، تولید گوگرد نیز به عنوان محصولی فرعی در پالایشگاه‌ها افزایش یافت. به گونه‌ای که به علت قیمت پایین تولید صنعتی آن، تولید معدنی آن تقریباً به طور کلی متوقف شد. این میزان عظیم تولید و مشکلاتی که پیرامون حمل آن وجود دارد، سبب شد تا مقادیر متنابهی از گوگرد در پالایشگاه‌ها انباشت شود. از یک طرف هزینه‌های سنگین تبدیل آن به اسید سولفوریک و از طرف دیگر خطرات ناشی از انباشت گوگرد سبب شد تا در سالیان گذشته مسئولین برای رهایی از این محصول، آن‌را به صورت رایگان در اختیار مشتریان قرار دهند. به دلیل مشکلات ذکر شده در بسیاری از کشورهای تولید کننده عمده انرژی همچون کانادا و آمریکا، تحقیقات وسیعی برای استفاده از گوگرد به عنوان یک ماده صنعتی در حال انجام است که سبب پیدایش محصولاتی مانند بتن گوگردی و آسفالت گوگردی شده است. میزان تولید گوگرد در جهان در جداول ۱-۵ و ۱-۶ و ۱-۷ ومیانگین میزان تولید گوگرد نیز مطابق جدول ۱-۸ بیان شده است.

جدول ۱-۵ میزان تولید گوگرد در جهان در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ به نقل از World Mineral Statistics [۲]

سال	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵
تولید جهان (هزار تن)	۵۷۷۰۰	۵۷۲۰۰	۵۶۸۰۰	۵۸۵۶۶	۵۹۴۰۱	۵۹۶۱۳	۵۹۸۸۲	۵۹۸۷۶	۶۰۱۲۱

جدول ۱-۶ میزان تولید گوگرد در جهان در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ به نقل از USGS [۲]

سال	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳
تولید جهان (هزار تن)	۵۱۰۰۰	۵۴۳۰۰	۵۲۴۰۰	۵۲۶۰۰	۵۷۸۰۰	۵۷۱۰۰	۵۷۲۰۰	۵۷۳۰۰	۵۷۷۰۰	۵۹۰۰۰

جدول ۱-۷ میزان گوگرد تولید شده در جهان در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ به نقل از World Mineral Data [۲]

سال	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳
تولید جهان (هزار تن)	۴۲۸۲۴	۴۰۷۱۷	۴۰۰۳۱	۴۰۴۵۵	۳۹۳۸۴	۴۰۵۳۲	۴۱۳۶۷

جدول ۱-۸ میانگین تولید گوگرد در جهان و سهم تولید ایران در بازار جهانی [۲]

سال	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳
تولید جهان (هزار تن)	۵۱۰۴۱	۵۱۹۰۶	۵۱۳۱۰	۵۲۰۷۴	۵۲۰۲۸	۵۲۶۱۵	۵۳۴۱۶
تولید ایران (هزار تن)	-	۹۴۶	۹۹۶	۱۰۵۸	۱۳۰۴	۱۲۳۹	۱۳۰۶
سهم تولید ایران	-	٪۱/۸	٪۱/۹	٪۲	٪۲/۵	٪۲/۴	٪۲/۴

بزرگترین تولید کنندگان گوگرد کشورهای آمریکای شمالی و اروپای شرقی مانند آمریکا، کانادا، شوروی سابق، لهستان و مکزیک می‌باشند [۲]. اکنون با توجه به جداول فوق می‌توان به سهم بالای ایران در تولید گوگرد در جهان پی برد.