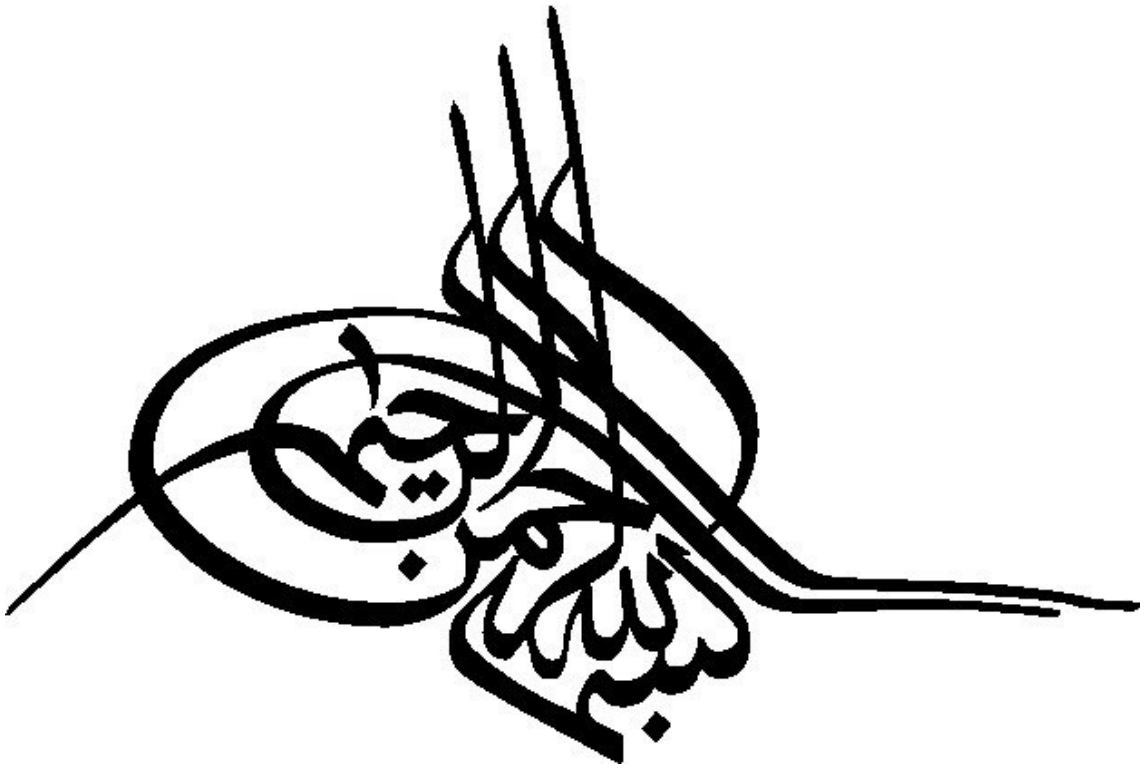
بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه ملایر

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مواد و متالورژی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان

سنتز پودر کاربید بور توسط حرارت‌دهی مایکروویوی

به وسیله‌ی:

وحید محمدیان

استاد راهنما:

دکتر مسعود سکاکی

استاد مشاور:

دکتر محمد شیخ شاب بافقی

شهریور ماه ۱۳۹۲

به نام خدا

سنتز پودر کاربید بور توسط حرارت‌دهی مایکروویوی

دانشجو:

وحید محمدیان

پایان نامه

ارایه شده به تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی

از فعالیت‌های لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی مواد (گرایش سرامیک)

از دانشگاه ملایر

ارزیابی و تأیید شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:

دکتر مسعود سکاکی، استادیار مهندسی مواد و متالورژی(استاد راهنما).....

دکتر محمد شیخ شاب بافقی، استاد مهندسی مواد و متالورژی (استاد مشاور).....

دکتر محمد یگانه قطبی، استادیار نانو مواد و نانو فن آوری (استاد داور).....

دکتر اکبر حیدرپور، استادیار مهندسی مواد و متالورژی (استاد داور).....

دکتر واحد قیاسی، استادیار مهندسی عمران (نماینده تحصیلات تکمیلی).....

شهریور ماه ۱۳۹۲

حق مالکیت مادی و معنوی پژوهش‌های علمی دانشگاه ملایر

- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدیدآورندگان محفوظ خواهد بود.
- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه و با تایید استاد راهنمای اصلی باشد. یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله می‌باشد. در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/رساله منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.
- انتشار کتاب، نرم‌افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/رساله باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.
- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/رساله است باید با هماهنگی استاد راهنما از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

«اینجانب وحید محمدیان به شماره دانشجویی ۹۰۱۱۱۲۳۰۰۸ دانشجوی رشته مهندسی مواد – گرایش سرامیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد دانشگاه ملایر متعهد می شوم که کلیه نکات فوق در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه ملایر را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه/رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت هرگونه تخلف از مفاد فوق به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

نام و نام خانوادگی: وحید محمدیان

امضاء و تاریخ: ۱۳۹۲/۶/۲٤

باسمه تعالی

اینجانب **وحید محمدیان** به شماره دانشجویی **۹۰۱۱۱۲۳۰۰۸** دانشجوی رشته **مهندسی مواد - گرایش سرامیک** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** دانشگاه ملایر تایید می‌نمایم که کلیه نتایج این پایان‌نامه / رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص، اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: وحید محمدیان

امضاء و تاریخ: ۱۳۹۲/۶/۲٤

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ◯ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله برای همگان بلامانع است.
- ◯ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ◯ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

استاد راهنما می‌تواند یکی از گزینه‌های بالا را انتخاب کند و مسئولین کتابخانه موظف به رعایت موارد تعیین‌شده می‌باشند.

نام استاد یا اساتید راهنما: دکتر مسعود سکاکی

تاریخ: ۱۳۹۲/٦/۲٤

امضاء:

تقدیم به :

پدر و مادر گرامیم

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم ، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم ، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانی‌تان را سپاس توانم بگویم .

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

را آوردی گران سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم ، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگی‌تان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

تشکر و قدردانی :

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

بدون شک جایگاه و منزلت استاد، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از استاد، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّ و جلّ":

از استاد ارجمند؛ جناب آقای دکتر سکاکی که از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد گرامی؛ جناب آقای دکتر شیخ شاب بافقی که زحمت مشاوره این رساله را متقبل شدند؛

و از اساتید محترم؛ جناب آقای دکتر یگانه قطبی و جناب آقای دکتر حیدرپور که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

با امتنان بیکران از مساعدت های بی شائبه ی جناب آقای مهندس میرشاه ولد ریاست محترم آزمایشگاه های دانشگاه ملایر و همچنین از کلیه کارمندان آزمایشگاه مرکزی جهت همکاری بیدریغ ایشان جهت پیشبرد این پایان نامه سپاس گذارم.

و در پایان با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

نام خانوادگی دانشجو : محمدیان نام : وحید
عنوان پایان نامه : سنتز پودر کاربید بور توسط حرارت‌دهی مایکروویوی
استاد راهنما : دکتر مسعود سکاکی *استاد مشاور : دکتر محمد شیخ شاب بافقی*
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مواد گرایش: سرامیک *دانشگاه ملایر–گروه: مهندسی مواد و متالورژی تاریخ فارغ التحصیلی : شهریور ۱۳۹۲ تعداد صفحات: ۱۰۶*
کلید واژه :کاربید بور، سنتز احتراقی، گرمایش مایکروویوی، محاسبات ترمودینامیکی

چکیده:

روش معمول تولید کاربید بور (B_4C) حرارت‌دهی مخلوط اکسید بور و کربن در دماهای بالا و زمان‌های طولانی است. با هدف کاهش هزینه تولید و افزایش راندمان، در این تحقیق امکان تولید فاز B_4C در حین حرارت‌دهی مخلوط واکنش‌کننده‌ها در یک دستگاه مایکروویو خانگی مورد بررسی قرار گرفت. مواد اولیه با نسبت‌های مختلف مولی مخلوط شده و به شکل قرص (به قطر ۱۰mm و ضخامت ۵mm) پرس گردیدند. این قرص‌ها در یک دستگاه مایکروویو خانگی با توان ۸۵۰W مورد گرمایش قرار گرفتند. از نتایج محاسبات ترمودینامیکی به همراه یافته‌های عملی برای توضیح و تبیین واکنش‌های شیمیایی صورت گرفته، استفاده شد. ملاحظه گردید که استفاده از Mg بجای Al (به عنوان احیاء کننده) و B_2O_3 بجای H_3BO_3 (به عنوان منبع بور) نتایج بهتری به همراه دارد. نتایج به دست آمده نشان داد که در سیستم B_2O_3-Mg-C واکنش شیمیایی با واکنش احیای B_2O_3 توسط Mg آغاز و واکنش کلی از نوع احتراقی با دمای آدیباتیک ۲۷۴۰°K می‌باشد. با توجه به اتلاف مقداری از منیزیوم مخلوط (در اثر تبخیر یا اکسایش) که سبب احیاء ناقص اکسید بور و در نتیجه تولید فازهای جانبی نظیر $Mg_3B_2O_6$ و $Mg_2B_2O_5$ می‌گردد استفاده از ۲ برابر میزان استوکیومتری منیزیم اضافی در مخلوط اولیه الزامی است. نتایج به دست آمده نشان داد که ممانعت از اتلاف حرارت از سیستم

(توسط دفن در آلومینا)، استفاده از مقادیر بیشتر کربن در مخلوط اولیه، استفاده از واکنش‌های جانبی گرمازا، افزایش زمان حرارت‌دهی مایکروویوی و نیز انجام قسمتی از احیاء اکسید بور توسط کربن (جایگزینی Mg با C) سبب ازدیاد مقدار B_4C تولیدی می‌گردد. در این تحقیق بیشترین مقدار فاز کاربید بور در شرایط زیر به دست آمد: استفاده از کربن بلک به عنوان منبع کربن و ترکیب با نسبت مولی $2B_2O_3:6Mg:C$ و افزایش زمان حرارت‌دهی مایکروویوی تا ۱۰ دقیقه. اسیدشویی محصول حاصل در اسید HCl رقیق ۲۰٪ به مدت زمان ۳۰ دقیقه نشان داد که امکان حذف فاز جانبی MgO و تولید فاز خالص B_4C وجود دارد. در این تحقیق تطابق خوبی بین نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های ترمودینامیکی و نتایج عملی مشاهده گردید.

فهرست مطالب

فصل۱. مقدمه ۱

۱-۱. پیش گفتار ۲

۱-۲. اهمیت موضوع ۴

فصل۲ . مروری بر منابع مطالعاتی ۵

۲-۱. مقدمه ۶

۲-۲. کاربیدها ۶

۲-۲-۱. طبقه بندی کاربیدها ۶

۲-۲-۲. ساختار کریستالی کاربید بور ۷
۲-۲-۳. دیاگرام فازی بور – کربن ۹
۲-۳. خواص کاربید بور ۹
۲-۳-۱. خواص عمومی ۹
۲-۳-۲. خواص فیزیکی ۱۰
۲-۳-۳. خواص مکانیکی ۱۳
۲-۳-۴. خواص هسته‌ای ۱۷
۲-۳-۵. خواص شیمیایی کاربید بور ۱۷
۲-۴. کاربردها ۲۱
۲-۴-۱. کاربرد عمومی ۲۱
۲-۴-۲. کاربردهای مکانیکی ۲۱
۲-۴-۳. کاربردهای شیمیایی ۲۲
۲-۴-۴. کاربردهای هسته‌ای ۲۲
۲-۴-۵. کاربردهای الکترونیکی ۲۳
۲-۵. روش‌های تهیه پودر کاربید بور ۲۳
۲-۵-۱. سنتز مستقیم از عناصر اصلی تشکیل دهنده ۲۳
۲-۵-۲. آلیاژ سازی مکانیکی ۲۴
۲-۵-۳. سنتز پودر کاربید بور با استفاده از روش سل – ژل ۲۵
۲-۵-۴. تجزیه شیمیایی حرارتی مواد پلیمری ۲۸
۲-۵-۵. روش رسوب بخار شیمیایی (CVD) ۲۸
۲-۵-۶. سنتز احتراقی ۳۱

۲-۵-۷. روش کربوترمی ۴۰
۲-۶. اساس گرمایش مایکروویوی ۴۵
۲-۶-۱. ویژگی‌های استفاده از فناوری مایکروویو در فرآوری مواد ۴۶
۲-۶-۲. مقایسه فرآیند مایکروویو با گرمایش های معمولی ۴۶
۲-۷. سنتز کاربید بور با استفاده از گرمایش مایکروویوی ۴۷
فصل۳ . تجهیزات، مواد و روش کار **۴۸**
۳-۱. مقدمه ۴۹
۳-۲. محاسبات ترمودینامیکی ۵۱
۳-۳. مواد ۵۱
۳-۳-۱. پودر اکسید بور ۵۱
۳-۳-۲. پودر اسید بوریک ۵۲
۳-۳-۳. پودر منیزیم ۵۳
۳-۳-۴. پودر کربن بلک (دوده) ۵۳
۳-۳-۵. پودر گرافیت ۵۴
۳-۳-۶. پودر اکسید آهن ۵۵
۳-۳-۷. پودر اکسید روی ۵۵
۳-۳-۸. اسید هیدروکلریدریک ۵۵
۳-۴. تجهیزات ۵۵
۳-۴-۱. آسیا کاری ۵۵
۳-۴-۲. پرس هیدرولیک تک محور به همراه قالب سنبه ماتریس ۵۵
۳-۴-۳. اجاق مایکروویو ۵۶

۳-۴-۴. دستگاه آنالیز پراش اشعه X ۵۶
۳-۵. نحوه انجام فرآیند ۵۶

فصل۴ . نتایج و بحث ۶۰

۴-۱. مقدمه ۶۱
۴-۲. سنتز در سیستم دو تایی ۶۱
۴-۲-۱. ارزیابی ترمودینامیکی ۶۱
۴-۳. سنتز در سیستم سه تایی ۶۳
۴-۳-۱. منبع تأمین کننده بور، اسید بوریک ۶۳
۴-۳-۲. منبع تأمین کننده بور، اکسید بور ۶۸
۴-۳-۳. بررسی تأثیر افزایش نسبت مولی منیزیم از حالت استوکیومتری ۷۱
۴-۳-۴. بررسی تأثیر دفن نمونه درون پودر آلومینا ۷۳
۴-۳-۵. بررسی تأثیر افزایش نسبت مولی کربن از حالت استوکیومتری ۷۶
۴-۳-۶. بررسی انجام فرآیند با فعال سازی سینتیکی ۷۹
۴-۳-۷. منبع تأمین کننده کربن، کربن بلک (دوده) ۸۵
۴-۳-۸. بررسی تأثیر درصد حجمی مواد اولیه در مخلوط ۹۰

فصل۵ . نتیجه گیری کلی و پیشنهادات ۹۹

۵-۱. نتیجه گیری ۱۰۰
۵-۲. پیشنهادات ۱۰۱

مراجع ۱۰۲

جداول

فصل۲ . مروری بر منابع مطالعاتی ۵

جدول۲-۱. خواص کاربید بور در مقایسه با چند ماده سخت دیگر. ۱۰

جدول۲-۲. استحکام خمشی، استحکام فشاری و مدول الاستیسیته چند ماده سخت. ۱۴

جدول۲-۳. نسبت استحکام به دانسیته چند ماده سخت. ۱۵

جدول۲-۴. تأثیر مقادیر بیشتر از نسبت استوکیومتری کربن و بور روی خواص مکانیکی کاربید بور. ۱۶

جدول۲-۵. خواص مختلف کاربید بور. ۲۰

جدول۲-۶. دمای تشکیل فازهای مختلف در سیستم Mg - B_2O_3 ۴۰

فصل۳ . تجهیزات، مواد و روش کار ۴۸

جدول۳-۱. سری نمونه‌ها، فرآیندهای جانبی و ترکیبات نمونه‌ها در این تحقیق. ۵۹

جدول۳-۲. شماره کارت مرجع عناصر و ترکیبات شناسایی شده در الگوهای پراش اشعه X..... ۵۹

فصل۴ . نتایج و بحث ۶۰

جدول۴-۱. بررسی ترمودینامیکی انجام پذیری واکنش‌های محتمل در سیستم دوتایی. ۶۳

جدول۴-۲. بررسی ترمودینامیکی انجام پذیری واکنش‌های محتمل در سیستم سه‌تایی با منبع اسید بوریک. ۶۴

جدول۴-۳. خلاصه‌ای از نتایج یافته‌های عملی برای سیستم اسید بوریک. ۶۵

جدول۴-۴. بررسی ترمودینامیکی انجام پذیری واکنش‌های محتمل در سیستم سه‌تایی با منبع اکسید بور..... ۶۹

جدول۴-۵. خلاصه‌ای از نتایج یافته‌های عملی برای سیستم اکسید بور به همراه بررسی تغییر در نسبت مولی منیزیم..... ۶۹

جدول۴-۶. خلاصه‌ای از نتایج یافته‌های عملی برای سیستم تغییر نسبت مولی منیزیم همراه فرآیند جانبی..... ۷۳

جدول۴-۷. خلاصه‌ای از نتایج یافته‌های عملی برای سیستم تغییر نسبت مولی کربن به همراه فرآیند جانبی..... ۷۷

جدول۴-۸. خلاصه‌ای از نتایج یافته‌های عملی برای سیستم فعال سازی از طریق واکنش احتراقی کمکی. ۸۰

جدول۴-۹. خلاصه‌ای از نتایج یافته‌های عملی برای سیستم فعال سازی سینتیکی از طریق افزایش زمان حرارت‌دهی..... ۸۸

جدول۴-۱۰. خلاصه‌ای از نتایج یافته‌های عملی برای سیستم‌های فعال سازی سینتیکی برای مخلوط با نسبت ۴/۵ مول منیزیم..... ۹۱

اشکال

فصل۲ . مروری بر منابع مطالعاتی ۵

شکل۲-۱. سلول واحد رامبوهدرال ساختار کریستالی کاربید بور..... ۸

شکل۲-۲. دیاگرام فازی B-C..... ۹

شکل۲-۳. مقاومت الکتریکی کاربید بور بر حسب دما..... ۱۱

شکل۲-۴. تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به دما..... ۱۲

شکل۲-۵. تغییرات توان ترموالکتریکی نسبت به دما..... ۱۲

شکل۲-۶. تأثیر نسبت B / C روی سختی کاربید بور..... ۱۳

شکل۲-۷. ارتباط سختی کاربید بور با درجه حرارت ۱۴

شکل۲-۸. تغییرات مدول الاستیسیته و صلبیت نسبت به درجه حرارت. ۱۶

شکل۲-۹. مقایسه خواص ماشین‌کاری مواد سرامیکی مختلف. ۱۷

شکل۲-۱۰. تأثیر پارامترهای مختلف بر فرآیند تولید کاربید بور توسط روش کربوترمی در حضور آلومینیم. ۳۷

شکل۲-۱۱. ارتباط مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید کاربید بور نسبت به درصد ماده رقیق کننده. ۴۵

فصل۳ . تجهیزات، مواد و روش کار **۴۸**

شکل۳-۱. نمای کلی از مراحل انجام آزمایش‌ها در تحقیق حاضر. ۵۰

شکل۳-۲. الگوی پراش اشعه X مربوط به ماده‌ی اولیه اکسید بور. ۵۲

شکل۳-۳. الگوی پراش اشعه X مربوط به ماده‌ی اولیه اسید بوریک. ۵۲

شکل۳-۴. الگوی پراش اشعه X مربوط به ماده‌ی اولیه منیزیم. ۵۳

شکل۳-۵. الگوی پراش اشعه X مربوط به ماده‌ی اولیه کربن بلک (دوده). ۵۴

شکل۳-۶. الگوی پراش اشعه X مربوط به ماده‌ی اولیه گرافیت. ۵۴

شکل۳-۷. قالب متشکل از سمبه و ماتریس برای متراکم سازی مخلوط مواد اولیه. ۵۶

شکل۳-۸. نحوه‌ی چیدمان نمونه‌ها در تحقیق حاضر در چهار حالت، گرمایش عادی(۱)، دفن در پودر آلومینا(۲)، تلفیق حالت عادی و دفن (۳) و گرمایش با شدت انفجاری(۴). ۵۸

شکل۳-۹. مثالی از قرص‌های مورد استفاده در این تحقیق پیش (الف) و پس (ب) از وقوع واکنش احتراقی. ۵۹

فصل۴ . نتایج و بحث **۶۰**

شکل۴-۱. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $4H_3BO_3:6Mg:C$ (نمونه‌ی۳-A) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی. ۶۶

شکل۴-۲. الگوی پراش اشعه X مربوط به ماده‌ی اولیه اسید بوریک حرارت‌دهی شده در خشک کن. ۶۸

شکل۴-۳. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3:6Mg:C$ (نمونه‌ی۱-B) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی. ۷۰

شکل۴-۴. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg (نمونه‌ی B-۲)حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۷۱

شکل۴-۵. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی B-۶)حرارت‌دهی شده تا زمان ۴ دقیقه..... ۷۲

شکل۴-۶. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی B-۷) حرارت‌دهی شده تا زمان ۴ دقیقه..... ۷۲

شکل۴-۷. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی C-۲) حرارت‌دهی شده تا زمان ۴ دقیقه..... ۷۴

شکل۴-۸. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی C-۳) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۷۴

شکل۴-۹. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی C-۴) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۷۵

شکل۴-۱۰. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی C-۵) حرارت‌دهی شده تا زمان ۴ دقیقه..... ۷۵

شکل۴-۱۱. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی D-۲) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۷۷

شکل۴-۱۲. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی D-۴) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۷۸

شکل۴-۱۳. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی D-۲) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش و سپس اسید شویی شده..... ۷۸

شکل۴-۱۴. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی E-۳) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۸۱

شکل۴-۱۵. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی E-۳) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی و سپس اسید شویی شده..... ۸۲

شکل۴-۱۶. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی E-۵) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۸۳

شکل۴-۱۷. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی E-۵) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی وسپس اسید شویی شده..... ۸۴

شکل۴-۱۸. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط $2B_2O_3$:۶Mg:C (نمونه‌ی E-۶) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۸۴

شکل۴-۱۹. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:6Mg:C (نمونه‌ی E-۷) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی. ۸۶

شکل۴-۲۰. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:6Mg:C (نمونه‌ی E-۷) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی و سپس اسید شویی شده..... ۸۶

شکل۴-۲۱. دیاگرام انرژی آزاد تشکیل و گرمای تشکیل واکنش $4B + C = B_4C$. ۸۷

شکل۴-۲۲. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط$2B_2O_3$:6Mg:C (نمونه‌های F-۱ و F-۲) حرارت‌دهی شده تا زمان ۵ و ۱۰ دقیقه. ۸۸

شکل۴-۲۳. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط$2B_2O_3$:6Mg:C (نمونه‌ی F-۲) حرارت‌دهی شده تا زمان ۱۰ دقیقه و سپس اسید شویی شده..... ۸۹

شکل۴-۲۴. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:۹/۲Mg:۵/۲C (نمونه‌یG-۴) حرارت‌دهی شده تا زمان ۴ دقیقه. ۹۲

شکل۴-۲۵. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط*$2B_2O_3$:۹/۲Mg:۵/۲C (نمونه‌ی G-۱) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی..... ۹۳

شکل۴-۲۶. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:۹/۲Mg:۵/۲C (نمونه‌ی G-۱) حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی و سپس اسید شویی شده..... ۹۳

شکل۴-۲۷. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:۹/۲Mg:۵/۲C (نمونه‌ی G-۴) حرارت‌دهی شده تا زمان ۷ دقیقه. ۹۴

شکل۴-۲۸. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:۹/۲Mg:۵/۲C (نمونه‌ی G-۴) حرارت‌دهی شده تا زمان ۷ دقیقه و سپس اسید شویی شده..... ۹۵

شکل۴-۲۹. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:۹/۲Mg:۵/۲C (نمونه‌های G-۱،G-۲ و G-۳)حرارت‌دهی شده تا زمان انجام واکنش احتراقی و سپس اسید شویی شده. ۹۶

شکل۴-۳۰. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:۹/۲Mg:۵/۲C (نمونه‌های G-۴، G-۶ و G-۵) حرارت‌دهی شده تا زمان ۷ دقیقه و سپس اسید شویی شده. ۹۷

شکل۴-۳۱. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:۹/۲Mg:۵/۲C (نمونه‌هایG-۶) حرارت‌دهی شده تا زمان ۷ دقیقه. ۹۷

شکل۴-۳۲. الگوی پراش اشعه X مربوط به مخلوط *$2B_2O_3$:6Mg:C (نمونه‌ی F-۳) حرارت‌دهی شده به ترتیب تا زمان انجام واکنش احتراقی و زمان ۱۰دقیقه و سپس اسید شویی شده. ۹۸