بسم الله الرحمن الرحیم

محاسبات در سرامیک

رشتهٔ سرامیک

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

شمارهٔ درس ۲۵۱۹

۶۶۶ افتخاری‌یکتا، بیژن
م ۶۲۷ الف محاسبات در سرامیک/مؤلف: بیژن افتخاری‌یکتا.ــ تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵
۱۳۹۵ .۱۳۹۵
۱۱۷ ص. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۲۵۱۹)
متون درسی رشتهٔ سرامیک، زمینهٔ صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ سرامیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. سرامیک ــ ریاضیات. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش. ب. عنوان. ج. فروست.

۱۳۹۵

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب بـه نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف‌کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) **info@tvoccd.sch.ir**

وب‌گاه (وب‌سایت) **www.tvoccd.sch.ir**

این کتاب با توجه به برنامهٔ سالی ــ واحدی و براساس پیشنهاد هنرآموزان رشتهٔ سرامیک سراسر کشور در گردهمایی مهرماه ۸۱ تنکابن و تصویب درکمیسیون تخصصی رشتهٔ سرامیک مورد بررسی قرار گرفت و فصل‌های ششم و نهم توسط خانم ابراهیمی و آقای خوشبخت اضافه شده است.

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **محاسبات در سرامیک ـ ۴۶۴/۷**

مؤلف : **بیژن افتخاری یکتا**

اعضای کمیسیون تخصصی : **حسین قصاعی، محمود سالاریه، جمشید علی‌محمدی، مریم ابراهیمی و حسن خوشبخت**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

صفحه‌آرا : **طرفه سهائی**

طراح جلد : **تبسم ممتحنی**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)**

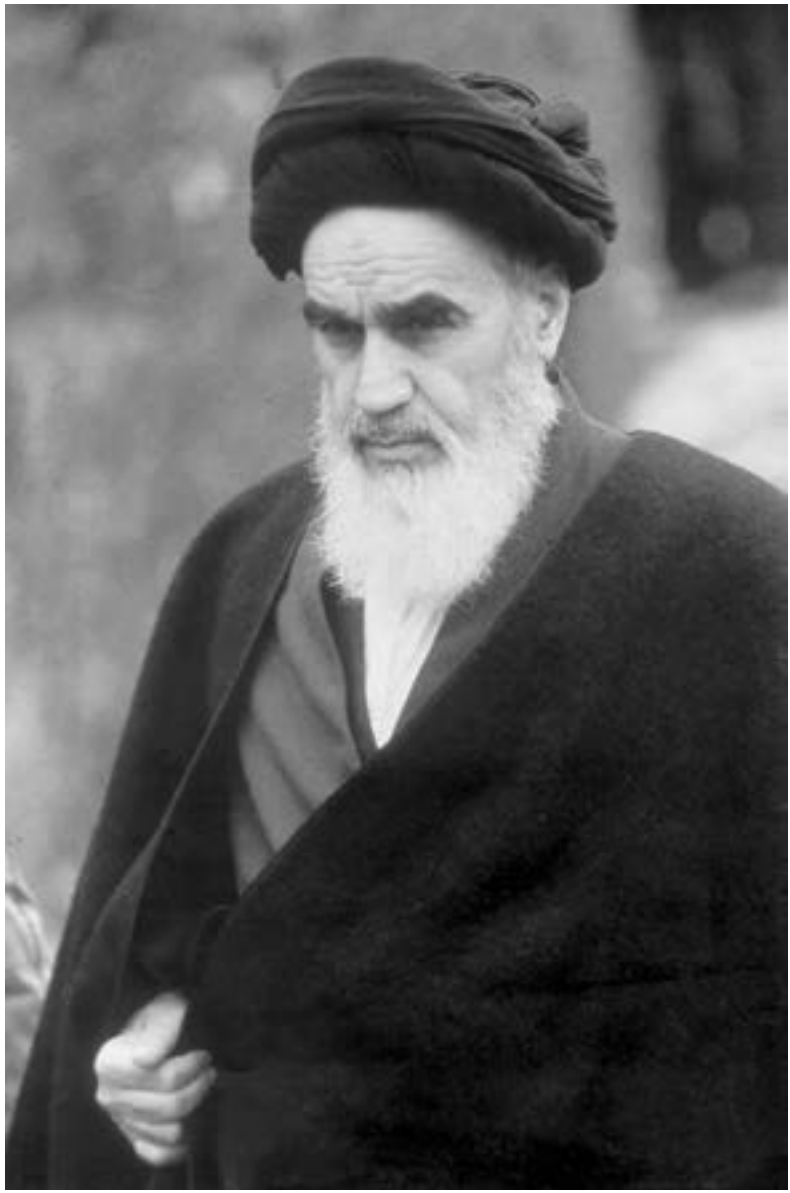
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»**

سال انتشار : **۱۳۹۵**

حقّ چاپ محفوظ است.

ISBN 964-05-0638-9 **شابک ۹-۰۶۳۸-۰۵-۹۶۴**



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتّکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

فهرست

مقدمه

فصل اوّل ــ واحد اندازه‌گیری و مفهوم طول، سطح و حجم ۱
چگونه اندازه می‌گیریم؟ ۱
۱ــ۱ــ سیستم متریک ۲
۱ــ۲ــ آشنایی با پیشوند واحدها در دستگاه SI ۲
۱ــ۳ــ واحدهای اصلی و فرعی در سیستم SI ۴
۱ــ۴ــ اندازه‌گیری طول ۴
۱ــ۵ــ محاسبه سطح ۶
۱ــ۶ــ محاسبه حجم ۷
تمرین ۸

فصل دوم ــ مفهوم درصد و کاربردهای آن ۹
مقایسهٔ کمیت‌ها ۹
تعریف درصد ۹
تمرین ۱۶

فصل سوم ــ انقباض ۱۸
۳ــ۱ــ انقباض خطی ۱۸
۳ــ۱ــ۱ــ انقباض تر به خشک ۱۸
۳ــ۱ــ۲ــ انقباض پخت ۱۹
۳ــ۱ــ۳ــ انقباض کل ۲۰
۳ــ۲ــ انقباض حجمی ۲۲
تمرین ۲۴

فصل چهارم ــ چگالی ۲۵
۴ــ۱ــ چگالی ۲۵
۴ــ۲ــ استفاده از قانون ارشمیدس برای تعیین حجم ۲۸
۴ــ۲ــ۱ــ جامدات متخلخل ۲۹
۴ــ۲ــ۱ــ۱ــ قطعات سرامیکی متخلخل ۲۹
۴ــ۲ــ۱ــ۲ــ ساختمان تخلخل‌ها ۳۰
۴ــ۲ــ۱ــ۳ــ محاسبه چگالی ظاهری، حقیقی و کلی ۳۰
۴ــ۲ــ۱ــ۴ــ محاسبه درصد تخلخل ظاهری و حجم تخلخل‌ها ۳۳
۴ــ۲ــ۲ــ محاسبهٔ چگالی دوغاب ۳۵
تمرین ۳۸

فصل پنجم ــ تبدیل آنالیز شیمیایی و مینرالی به یکدیگر ۴۰
۱ــ۵ــ تعیین درصد اکسیدهای موجود در مواد اولیه با استفاده از فرمول کانی ۴۰
۲ــ۵ــ تعیین درصد مینرال‌های موجود در مادهٔ اولیه با استفاده از آنالیز شیمیایی ۴۵
۱ــ۲ــ۵ــ محاسبه آنالیز مینرالی ماده اولیه رسی بر مبنای فلدسپات ۴۶
۲ــ۲ــ۵ــ محاسبه آنالیز مینرالی ماده اولیه رسی بر مبنای میکا ۵۰
تمرین ۵۶

فصل ششم ــ محاسبه آمیز بدنه براساس آنالیز مینرالی مواد اولیه ۵۸
مقدمه ۵۸
۱ــ۶ــ محاسبه درصد یکی از مواد اولیه خشک لازم برای ساخت بدنهٔ مورد نظر ۵۹
۲ــ۶ ــ محاسبه آنالیز مینرالی بدنه با آمیز مشخص ۶۳
۳ــ۶ ــ محاسبه درصد مواد اولیه خشک برای ساخت بدنه با آنالیز مینرالی مشخص ۶۶
۴ــ۶ ــ محاسبهٔ درصد مواد اولیه مرطوب برای ساخت بدنه بدل چینی فلدسپاتی ۷۲
تمرین ۷۴

فصل هفتم ــ محاسبه فرمول زگر لعاب ۷۷
۱ــ۷ــ آمیز لعاب برحسب مواد اولیه تشکیل‌دهندهٔ آن ۷۷
۲ــ۷ ــ آمیز لعاب برحسب درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهندهٔ آن ۷۸
۳ــ۷ــ آمیز لعاب به‌صورت فرمول زگر ۷۸
تمرین ۸۴

فصل هشتم ــ محاسبه ضریب انبساط حرارتی ۸۶
مقدمه ۸۶
۱ــ۸ ــ محاسبه ضریب انبساط حرارتی لعاب ۸۶
تمرین ۹۲

فصل نهم ــ آسیاب گلوله‌ای و محاسبات مربوط به آن ۹۳
مقدمه ۹۳
۱ــ۹ــ تعیین حجم جارمیل و بال‌میل ۹۴
۲ــ۹ــ تقسیم‌بندی حجمی بال‌میل در خشک‌سابی و ترسابی ۹۶
۳ــ۹ــ محاسبه سرعت دورانی بال‌میل‌ها ۹۸
۴ــ۹ــ تعیین مقدار آب لازم جهت تصحیح دانسیته دوغاب ۹۹
تمرین ۱۰۱

ضمائم ۱۰۲
واژه‌نامه ۱۰۷
جواب تمرینات آخر فصل‌های کتاب ۱۱۱
فهرست منابع ۱۱۷

مقدمه

قدمت و دیرینگی سرامیک بر کسی پوشیده نیست، آخرین کاوش‌های باستان‌شناسی وجود بقایای سفالینه‌ها با قدمت ۷۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح را تأیید می‌کند. سرامیک‌ها در طی سالیان متمادی دارای تغییرات فراوان بوده و در سال‌های اخیر رشد چشمگیری در تمام زمینه‌ها، از قبیل فراوری مواد مصرفی، چگونگی آماده‌سازی، تجهیزات و ابزارآلات تولید، کیفیت محصول و ... داشته‌اند. به‌گونه‌ای که سرامیک‌های مدرن امروزی در تمام علوم پیشرفته از جمله الکترونیک، هسته‌ای، نسوزهای ویژه، مواد نانو و ... نقش کلیدی دارند و این امر را مدیون خلوص بالای مواد اولیه، محاسبات دقیق، عملیات خاص آماده‌سازی و تکنولوژی تولید پیشرفتهٔ خود هستند.

ساخت محصولات سرامیکی با کیفیت مطلوب، مراحلی دارد که اولین قدم آن انتخاب صحیح نوع مواد اولیه و میزان مصرف آن‌هاست. در این کتاب، محاسبهٔ موارد ذکرشده براساس فرمولاسیون محصول مورد نظر، در کنار سایر محاسبات لازم جهت تعیین انقباض، وزن مخصوص، ضریب انبساط حرارتی، محاسبات ویژهٔ لعاب و محاسبات فرمولاسیون بدنه و ... تشریح شده است. همچنین آنالیز شیمیایی و مینرالی مواد اولیه و تبدیل این دو آنالیز به یکدیگر از موارد دیگری است که در این کتاب روی آن‌ها بحث شده است.

کمیسیون تخصصی رشته سرامیک تلاش کرده است محاسبات مورد نیاز در صنعت سرامیک را به‌طور خلاصه و با بیان ساده جهت استفادهٔ بهینه و کارآمد هنرجویان رشته به‌گونه‌ای گرد هم آورد که هنرجویان عزیز بتوانند دانش علمی خود را به‌خوبی در عرصهٔ عمل به‌کار گیرند.

کمیسیون تخصصی رشتهٔ سرامیک

بهار ۱۳۸۷

قرارداد : در محاسبات مربوط به فصل دوم کتاب (مفهوم درصد و کاربردهای آن)، اعداد تا دو رقم بعد از اعشار رُند می‌شوند. در مورد فصل هفتم (محاسبه فرمول زگرلعاب) تا سه رقم بعد از اعشار و در مورد فصل هشتم (محاسبه ضریب انبساط حرارتی) تا چهار رقم بعد از اعشار را رُند می‌کنیم.

هدف کلی

آشنایی با محاسبات معمول در صنعت سرامیک و طریقه حساب کردن پارامترهای مطلوب

فصل اوّل

واحد اندازه‌گیری و مفهوم طول، سطح و حجم

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ به کمک ابزار اندازه‌گیری طول، ابعاد اجسام و اشکال را اندازه بگیرد.

۲ــ سطوح اشکالی نظیر مربع، مستطیل، مثلث، متوازی‌الاضلاع و دایره را محاسبه کند.

۳ــ حجم و سطح کلّ مکعب، مکعب مستطیل،استوانه، کره را به‌دست آورد.

۴ــ پیشوندهای واحدهای سیستم SI را توضیح دهد.

۵ــ اجزا و اضعاف هر واحد را به هم تبدیل کند.

چگونه اندازه می‌گیریم؟

برای این‌که بتوانیم محیط اطراف را بشناسیم و پدیده‌هایی را که در پیرامون خود اتفاق می‌افتد، بهتر درک کنیم، کسب یک سری اطلاعات درست از محیط ضروری است. بخشی از این اطلاعات، از طریق اندازه‌گیری جمع‌آوری می‌شود. وقتی به زندگی روزمره‌ی خود نگاه کنیم، متوجه می‌شویم که بخش وسیعی از فعالیّت‌های روزانه‌ی ما نیز به اندازه‌گیری معطوف می‌شود. هر روز به دفعات در کارهای روزمره خود از اندازه‌گیری‌های مربوط به طول، جرم و زمان استفاده می‌کنیم. فاصله‌ی زمانی مصرف یک دارو یا انجام کارهای خود را با ساعت تنظیم می‌کنیم و برای خرید کالاهای مورد نیاز خود از واحدهای جرم و طول استفاده می‌کنیم. در طی روز، بارها با وضعیت آب و هوا از نظر درجه حرارت، میزان رطوبت و فشار سروکار داریم. دانشمندان نیز با اندازه‌گیری (در ابعاد مختلف از بسیار کوچک تا بسیار بزرگ)، سعی می‌کنند که هرچه بیش‌تر به طبیعت و قوانین حاکم بر آن پی ببرند. اندازه‌گیری‌های مختلف آن‌قدر در جنبه‌های گوناگون زندگی انسان مهم است که جزئی از زندگی او شده است. بدون شک اگر نتوانیم آن چیزی را که در

نظر داریم، خوب اندازه‌گیری کنیم، مفهوم درستی در مورد آن کسب نخواهیم کرد. در نتیجه قادر نخواهیم بود دانش خود را افزایش داده یا از دانش دیگران بهره گیریم.

زمانی که می‌خواهیم یک شیء را از نظر«وزن، طول، سطح، حجم و...» اندازه‌گیری کنیم، باید دو عمل را به‌طور جداگانه انجام دهیم. اولین کار انتخاب واحد اندازه‌گیری یا یک مقیاس مناسب برای اندازه‌گیری است. در مرحله‌ی بعد شیء مورد نظر خود را با واحد انتخاب شده می‌سنجیم. انتخاب یک واحد مناسب اندازه‌گیری، از اهمیت فراوانی برخوردار است. بدون داشتن استاندارد قابل قبول[1]، یک اندازه‌گیری صحیح و دقیق ممکن نیست به همین خاطر در هر کشور اداره‌ای به نام استاندارد وجود دارد تا با تهیه استانداردها و نظارت بر واحدهای مورد استفاده در امور تجاری، صنعتی و علمی، امکان اندازه‌گیری‌های صحیح را نیز فراهم آورد.

۱ــ۱ــ سیستم متریک

با توجه به گستردگی روابط تجاری، صنعتی و علمی بین کشورهای مختلف، بدون شک باید برای اندازه‌گیری از سیستمی استفاده کنیم که در همه جا یکسان و مورد قبول همه‌ی کشورها باشد. بر همین اساس و برای هماهنگی واحدهای اندازه‌گیری، کنفرانس بین‌المللی اوزان و مقادیر در سال ۱۳۳۹ شمسی (۱۹۶۰ میلادی) پیشنهاد کرد که : همه‌ی کشورهای جهان در اندازه‌گیری‌ها از یک دستگاه واحدهای بین‌المللی که با علامت اختصاری SI[2] نشان داده می‌شود، استفاده کنند. واحدهای این دستگاه بین‌المللی از واحدهای دستگاهی موسوم به دستگاه MKS که آن را دستگاه متریک نیز می‌گویند، گرفته شده است. در این دستگاه، واحد طول متر (m)، واحد جرم کیلوگرم (kg) و واحد زمان ثانیه (s) است و MKS نمایش حروف اول کلمات لاتین متر، کیلوگرم و ثانیه است.

۲ــ۱ــ آشنایی با پیشوند واحدها در دستگاه SI

یکی از ویژگی‌های دستگاه یا سیستم SI، داشتن تقسیمات ده‌دهی در واحدهای آن است. این به آن معنی است که هر واحد با واحدهای بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر هم‌جنس خودش با مضربی از ۱۰ یا $\frac{۱}{۱۰}$ در ارتباط است. هریک از این مضرب‌ها دارای نام ویژه‌ای است که به‌صورت پیشوند در جلو نام واحدها اضافه می‌شود. این پیشوندها در جدول (۱ــ۱) توضیح داده شده‌اند.

۱ــ باید توجّه کرد که در برهه‌ای از زمان مقیاس‌هایی وجود داشته‌اند که از دقت چندانی برخوردار نبوده‌اند مثلاً زمانی استاندارد طول وجب یا فاصله نوک انگشتان دو دست (در حالت کشیده) از هم بوده است. مشخص است که مقدار طول در چنین مقیاسی تابعی از فرد اندازه‌گیر است.

۲ــ Systeme internationale (به زبان فرانسوی)

مثلاً با توجه به جدول (۱ــ۱)، سانتی‌متر (cm) یعنی یک صدم متر، میلی‌گرم (mg) یعنی یک هزارم گرم، میکروثانیه (s .) یعنی یک میلیونیم ثانیه و نانومتر (nm) یعنی یک میلیاردیم متر و ... .

علاوه‌بر این پیشوندها، برخی از واحدها در سیستم SI دارای اجزا و اضعافی هستند که از نام مشخصی نیز برخوردارند. به جدول (۲ــ۱) که بیانگر چنین رابطه‌ای است، توجه کنید.

با استفاده از پیشوندهای ذکر شده در جدول (۱ــ۱)، ما قادر خواهیم بود که هر واحد را به اجزای کوچک‌تر و یا بزرگ‌تری تقسیم کنیم.

تمرین: اجزا و اضعاف واحد زمان (ثانیه) را بنویسید.

جدول ۱ــ۱ــ پیشوندهایی که در جلوی واحدهای سیستم SI به‌کار می‌روند

نام پیشوند	معنی پیشوند	علامت اختصاری
نانو	یک میلیاردیم	n
میکرو	یک‌میلیونیم	.
میلی	یک‌هزارم	m
سانتی	یک‌صدم	c
دسی	یک‌دهم	d
دکا	ده	da
هکتو	صد	h
کیلو	هزار	k
مگا	میلیون	M
گیگا	میلیارد	g

جدول ۲ــ۱ــ اجزا و اضعاف واحدهای سیستم SI

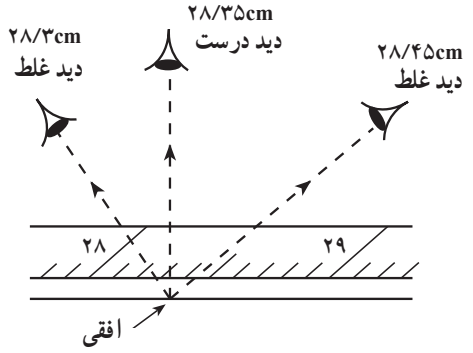
اضعاف	واحد	اجزا
۱کیلومتر . ۱۰۰۰m	متر	سانتی‌متر ($\frac{۱}{۱۰۰}$ متر)، میلی‌متر ($\frac{۱}{۱۰۰۰}$ متر)
۱تن . ۱۰۰۰kg	کیلوگرم	گرم ($\frac{۱}{۱۰۰۰}$ کیلوگرم)

۳ــ۱ــ واحدهای اصلی و فرعی در سیستم SI

در دستگاه SI، واحدهای اندازه‌گیری به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم می‌شوند. واحدهای مربوط به کمیّت‌های طول، جرم و زمان را واحدهای اصلی می‌نامند. زیرا هریک از آن‌ها به‌طور مستقل انتخاب شده‌اند و به واحدهای دیگر وابسته نیستند. واحدهایی مثل واحد سرعت، یک واحد فرعی هستند. چون برای اندازه‌گیری آن‌ها باید به‌طور جداگانه زمان و مسافت طی شده را اندازه‌گیری کرده و سپس با تقسیم مسافت بر زمان، سرعت را به‌دست آورد.

۴ــ۱ــ اندازه‌گیری طول

همان‌طورکه می‌دانید، واحد طول در دستگاه اندازه‌گیری (SI) متر است. متر، یک واحد استاندارد است و طبق آخرین تعریف به‌عمل‌آمده در هفدهمین کنفرانس بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها در مهرماه ۱۳۶۲ (اکتبر ۱۹۸۳ میلادی) برابر با طولی است که نور در مدت $\frac{۱}{۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند. گفتیم که هر متر به صد سانتی‌متر و یا هزار میلی‌متر تقسیم می‌شود وهر هزارمتر نیز یک کیلومتر است. استفاده از هریک از این واحدها در اندازه‌گیری، به مقدار کمیّت مورد نظر و دقت به‌کار رفته در اندازه‌گیری بستگی دارد. به‌طور مثال اگر بخواهیم با استفاده از خط‌کش، طولی را اندازه‌گیری کنیم، خط‌کش را در کنار طول مورد نظر قرار داده و با چشم خود درست از مقابل درجه‌ای که بر طول شیء مورد نظر منطبق است، می‌خوانیم. شکل (۱ــ۱)، چنین حالتی را نشان می‌دهد.

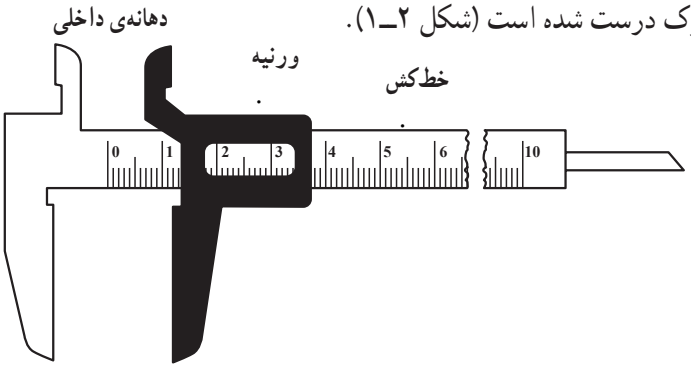


شکل ۱ــ۱ــ طرز خواندن درست اندازه

بدیهی است طول‌هایی را که از طول خط‌کش مدرج خیلی بزرگ‌تر یا از کوچک‌ترین درجه‌ی روی آن کوچک‌تر باشند، نمی‌توانیم با این وسیله اندازه‌گیری کنیم. طول‌های خیلی بزرگ‌را با متر اندازه‌گیری می‌کنیم، زیرا حداکثر طول مدرج شده روی خط‌کش‌های معمولی، بین ۱۰۰ــ۵۰ سانتی‌متر

است. همچنین حداقل فاصله‌ی تقسیم‌بندی شده یک میلی‌متر است. یعنی می‌توانیم فاصله‌ی مشخص شده روی خط‌کش را حداکثر با دقت میلی‌متر، اندازه‌گیری کنیم. به‌طور مثال اگر طول یک شیء ۱۳/۷۸ سانتی‌متر باشد، ما با خط‌کش، تنها قادر هستیم طول آن را ۱۳/۸ سانتی‌متر یا ۱۳۸ میلی‌متر اندازه بگیریم.

اگر بخواهیم طول یک شیء را با دقت ۰/۱ میلی‌متر ($\frac{۱}{۱۰۰}$ سانتی‌متر) اندازه‌گیری و ثبت کنیم و یا قطر داخلی و خارجی یک لوله را اندازه‌گیری کنیم، دیگر نمی‌توانیم از خط‌کش استفاده کنیم و باید وسیله دیگری به نام کولیس را به‌کار ببریم. کولیس از ترکیب یک خط‌کش مدرج فولادی و یک ورنیه متحرک درست شده است (شکل ۲ــ۱).



شکل ۲ــ۱ــ کولیس

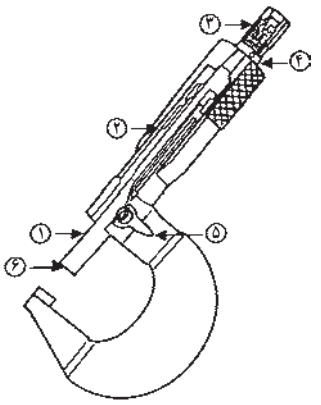
کلمه ورنیه، از نام مخترع آن پی‌یر ورنیه فرانسوی گرفته شده است. خط‌کش فولادی برحسب میلی‌متر مدرج شده و یک سر آن به یک شاخک ثابت متصل است. روی ورنیه درجه‌بندی کوچکی حک شده است که شامل ۱۰ قسمت و معادل ۹ میلی‌متر است. یعنی ۹ میلی‌متر در روی ورنیه، به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شده است. بدین ترتیب، هر درجه ورنیه به اندازه $\frac{۱}{۱۰}$ میلی‌متر از هر درجه‌ی خط‌کش کوچک‌تر است. موقعی که می‌خواهیم از کولیس به‌عنوان وسیله اندازه‌گیری استفاده کنیم، جسم مورد نظر را میان شاخک ثابت و متحرک (ورنیه) قرار می‌دهیم به‌طوری که شاخک‌ها با جسم در تماس باشند، سپس با استفاده از خط‌کش ابتدا جزء میلی‌متر طول جسم را خوانده و بعد از روی ورنیه، جزء دهم میلی‌متر آن را می‌خوانیم. شکل (۳ــ۱) یک خط‌کش مدرج و یک ورنیه را نشان می‌دهد که عدد ۱۲/۳ میلی‌متر از روی آن خوانده می‌شود.

شکل ۳ــ۱ــ چگونه ورنیه را می‌خوانیم؟

کسر میلی‌متر که در شکل نمایش داده شده در این‌جا (۰/۳) است و بدین طریق معین می‌شود که سومین خط ورنیه (نسبت به صفر آن) به یکی از خط‌های خط‌کش منطبق است. اگر از این خط به طرف صفر ورنیه توجه کنیم، مشاهده می‌شود که اختلاف بین هر درجه ورنیه و خط‌کش، مرتباً ۰/۱ میلی‌متر کاهش می‌یابد تا به ۰/۳ میلی‌متر برسد.

شایان ذکر است که اکنون کولیس‌های دیجیتالی ساخته شده است که تنها با قرار دادن نمونه بین شاخک‌های آن، طول مربوطه به‌صورت دیجیتالی (با دقتی در حدود صدم میلی‌متر) نشان داده می‌شود.

وسیله اندازه‌گیری دیگری به‌نام ریزسنج وجود دارد که دارای دقت اندازه‌گیری تا هزارم میلی‌متر است درشکل (۴ــ۱) تصویر یک ریزسنج را می‌بینید.



۱ــ محور متحرک
۲ــ غلاف بیرونی(محل در دست گرفتن ریزسنج)
۳ــ هرز گرد
۴ــ پیچ تنظیم
۵ــ گیره
۶ــ محل قرار گرفتن شیء

شکل ۴ــ۱ــ تصویر ریزسنج

۵ــ۱ــ محاسبه سطح

واحدهای اندازه‌گیری سطح و حجم مشتق از واحد طول هستند. واحد سطح مترمربع (m^2) است یعنی مربعی که طول هر ضلعش یک متر است. اگر ما طول ضلع این مربع را برحسب سانتی‌متر و میلی‌متر نمایش دهیم، آن‌گاه سطح را به واحدهای سانتی‌مترمربع (cm^2) و میلی‌مترمربع (mm^2) بیان می‌کنند.

تمرین: یک مترمربع چند سانتی‌مترمربع و یا چند میلی‌مترمربع است؟

مساحت سطوحی را که دارای اشکال منظم هندسی هستند، می‌توان با استفاده از دستورات ریاضی مشخص محاسبه کرد. در ادامه، دستورات ریاضی مربوط به محاسبه سطح برخی از اشکال منظم را به منظور یادآوری، ذکر می‌کنیم.

(a طول ضلع مربع) مساحت مربع . a . a . a^2

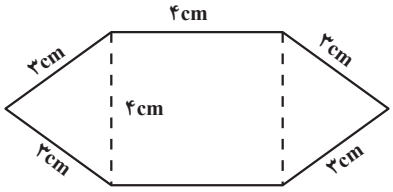
(a طول و b عرض مستطیل) مساحت مستطیل . a . b

(a طول قاعده و h طول ارتفاع وارد بر قاعده) $\frac{a \cdot h}{2}$. مساحت مثلث

(a طول ضلع، h طول ارتفاع وارد بر ضلع a) a . h . مساحت متوازی‌الاضلاع

(r شعاع دایره، ۳/۱۴ .) r^2 .. مساحت دایره

درصورتی که یک شکل غیرمنظم هندسی داشته باشیم، می‌توانیم درصورت امکان با تقسیم آن به شکل‌های منظم، مساحت هر بخش را با استفاده از دستورات ریاضی مربوطه محاسبه کرده و درنتیجه مساحت کل شکل را به‌دست آوریم. به‌عنوان مثال، شکل (۵ــ۱) را در نظر بگیرید. ما برای محاسبه‌ی چنین شکلی دستور ریاضی مشخصی نداریم. اما اگر آن را با استفاده از خط‌چین که در شکل ۵ــ۱ می‌بینیم به شکل‌های هندسی تقسیم کنیم، امکان محاسبه سطح فراهم می‌شود.



شکل ۵ــ۱

۶ــ۱ــ محاسبه حجم

واحد اندازه‌گیری حجم در دستگاه MKS، مترمکعب (m^3) است. یعنی مکعبی که طول هر ضلع آن یک متر باشد. اجزای واحد مترمکعب عبارتند از : سانتی‌مترمکعب (cm^3) و میلی‌مترمکعب (mm^3).

حجم اشکالی را که دارای شکل منظم هندسی هستند، می‌توانیم با استفاده از دستورات ریاضی محاسبه کنیم. از سوی دیگر، اشکال سه‌بُعدی هندسی، علاوه‌بر حجم دارای شاخص دیگری نیز هستند که آن را سطح جانبی یا سطح کل می‌نامند. به‌منظور یادآوری، فرمول ریاضی مربوط به محاسبه حجم و سطح کل بعضی از اشکال منظم سه‌بُعدی هندسی را ذکر می‌کنیم.

تمرین: هر مترمکعب چند میلی‌مترمکعب یا چند سانتی‌مترمکعب است؟

a طول یال مکعب — مکعب: حجم . a^3 ؛ سطح کل . $6a^2$

a و b و c طول یال‌های مکعب‌مستطیل — مکعب مستطیل: حجم . a . b . c ؛ سطح کل . ۲(ab . ac . bc)

استوانه
حجم . . . $r^2 . h$
سطح کل . ۲ . $r . h . ۲ r^2 . ۲ r(h . r)$
r شعاع قاعده، h ارتفاع

کره
حجم . $\frac{۴}{۳} r^3$
سطح کل . $۴ r^2$
r شعاع

در مورد حجم شکل‌های پیچیده نیز می‌توانیم از تقسیم این شکل‌ها به شکل‌های ساده‌تر و به دست‌آوردن حجم هر قسمت استفاده کنیم.

تمرین

۱ــ درصورتی که شعاع کره‌ای با شعاع قاعده استوانه‌ای با ارتفاع واحد($۱ . h$) برابر باشد، مطلوبست :

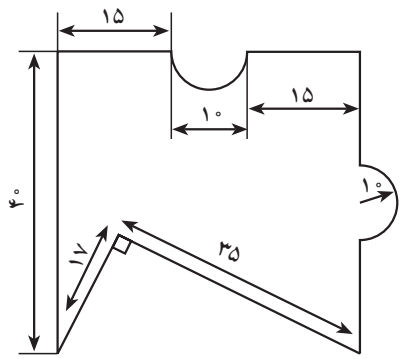
الف : نسبت حجم کره به حجم استوانه ب : نسبت سطح کل کره به سطح کل استوانه

۲ــ حساب کنید برای این‌که حجم مکعبی با ضلع a، شش برابر حجم کره‌ای با شعاع r باشد، a و r چه نسبتی باید با هم داشته باشند؟

۳ــ ۲۰۰ سانتی‌متر چند میلی‌متر و چند میکرومتر است؟

۴ــ حجم یک استوانه با ارتفاع ۱/۵ متر و قطر ۸۰ سانتی‌متر را برحسب mm^3 و m^3 به‌دست آورید.

۵ــ سطح شکل زیر را حساب کنید.



فصل دوم

مفهوم درصد و کاربردهای آن

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ کمیت‌های دارای واحد یکسان را با هم مقایسه کند.

۲ــ درصد یک جزء در یک آمیز را محاسبه کند.

۳ــ با استفاده از درصد اجزاء آمیز، مقدار آن‌ها را محاسبه کند.

۴ــ کاربرد درصد را در محاسبه اجزاء آمیز با یک مثال توضیح دهد.

مقایسه‌ی کمیت‌ها

دو کمیت را که دارای واحد یکسان و مقادیر مختلف باشند، می‌توان به دو طریق با یکدیگر مقایسه کرد. این دو طریق عبارتند از :

۱ ــ از روی اختلاف آن‌ها

۲ ــ از روی نسبت آن‌ها و یا به عبارت دیگر تعداد دفعاتی که یکی از این کمیت‌ها از دیگری کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر است.

مثلاً : در صورتی‌که دو جسم A و B با وزن‌های ۱۲kg و ۳kg را در نظر بگیریم، مقایسه این‌دو جسم می‌تواند به‌صورت‌های زیر بیان شود.

الف ــ اختلاف وزن بین A و B برابر با ۹kg است. یعنی جسم A به اندازه‌ی ۹kg از جسم B سنگین‌تر است.

ب ــ نسبت بین وزن اجسام A و B عبارتند از :

$$\frac{\text{وزن A}}{\text{وزن B}} = \frac{۱۲}{۳} = \frac{۴}{۱} \quad \text{یا} \quad \frac{\text{وزن B}}{\text{وزن A}} = \frac{۳}{۱۲} = \frac{۱}{۴}$$

یعنی وزن جسم A چهار برابر جسم B و یا وزن جسم B یک چهارم وزن جسم A است.

تعریف درصد

می‌توان گفت اگر جسم A را به صد قسمت مساوی تقسیم کنیم، مقدار جسم B معادل ۲۵

قسمت است. این عبارت را می‌توان به‌صورت زیر بیان داشت :

٪۲۵ وزن جسم A = وزن جسم B

بدین‌معنی که : جسم B ٪۲۵ (۲۵ درصد) از جسم A است. به مثال‌های زیر توجه کنید :

٪۳ یک تُن برابر است با : $\frac{۳}{۱۰۰}\times(۱\times۱۰۰۰)=۳۰\text{kg}$

٪۶۳ از ۱۹m برابر است با : $\frac{۶۳}{۱۰۰}\times۱۹=۱۱/۹۷\text{m}$

٪۶ از هفت‌هزار و پانصد ریال برابر است با :

$\frac{۶}{۱۰۰}\times۷۵۰۰=۴۵۰$ ریال

در صنایع سرامیک ، به‌طور گسترده از مفهوم درصد استفاده می‌کنیم. مثلاً در بیان آمیز یک بدنه یا لعاب، برای افزودن مقدار روانساز به دوغاب، برای محاسبه‌ی انقباض و... این کلمه بارها به‌کار می‌رود. به‌طور مثال، وقتی می‌گوییم یک آمیز سرامیکی دارای ٪۲۸/۷ کائولین است و می‌خواهیم بدانیم که در ۳/۶ تُن از این آمیز باید چه مقدار کائولین برحسب کیلوگرم مصرف کنیم؟ بدین شکل عمل می‌کنیم :

$۳/۶\times۱۰۰۰=۳۶۰۰\text{kg}$

$۲۸/۷٪\times۳۶۰۰=\frac{۲۸/۷}{۱۰۰}\times۳۶۰۰=۱۰۳۳\text{kg}=۱/۰۳۳\text{ton}$

اگر ۴۰kg از یک مخلوط شامل اجزای A و B و مقدار جزءِ A در این مخلوط ۲۵kg باشد، در آن صورت بدیهی است که سهم جزءِ A در این مخلوط نیز ٪۶۲/۵ است. برای محاسبه ریاضی این نتیجه، می‌توانیم چنین عمل کنیم :

$\frac{۲۵}{۴۰}\times۱۰۰=۶۲/۵٪$

برای بیان عمومی عملیات انجام شده، هنگامی‌که می‌خواهیم درصد یک جزء در یک آمیز را محاسبه کنیم ، مقدار آن جزء با واحد مشخص را به مقدار کل مخلوط با همان مقیاس تقسیم و حاصل را در عدد ۱۰۰ ضرب می‌کنیم :

رابطه (۱ــ ۲) $$\text{درصد جزء}=\frac{\text{مقدار جزء (با واحد معین)}}{\text{مقدار کل (با همان واحد)}}\times۱۰۰$$

قابل توجه هنرجویان عزیز :

مبنای محاسبات در این فصل کتاب تا دو رقم بعد از اعشار است. در جایی که اعداد بعد از

اعشار بیش از دو رقم باشد، بدین‌صورت رُند می‌شود : اگر هزارم کوچک‌تر یا مساوی ۵ بود، تا دو رقم بعد از اعشار نوشته می‌شود، اما اگر هزارم بزرگ‌تر یا مساوی ۵ بود رقم صدم یک واحد بیش‌تر می‌شود.

تذکر مهم: در محاسبه‌ی درصد، مقادیری که در رابطه (۱ــ۲) قرار می‌گیرند، باید دارای واحد یکسان باشند.

برای روشن شدن و فهم بهتر مطلب، در اینجا مجموعه‌ای از کاربردهای درصد در صنایع سرامیک را نشان می‌دهیم.

مثال ۱: ۳ تُن از یک آمیز سرامیکی دارای ۹۰۰ کیلوگرم سیلیس است. چند درصد سیلیس در این آمیز مصرف شده است؟

حل: برای حلّ این مسأله باید ابتدا واحدها را یکسان کرد. پس :

$$۳\text{ton} = ۳ \times ۱۰۰۰ = ۳۰۰۰\text{kg}$$

$$\text{درصد جزء} = \frac{\text{مقدار جزء}}{\text{مقدار کل}} \times ۱۰۰$$

$$= \frac{۹۰۰}{۳۰۰۰} \times ۱۰۰ = ۳۰٪$$

مثال ۲: برای تهیه یک دوغاب سرامیکی، ۶۰۰ کیلوگرم پودر خشک سرامیکی را به ۳۰۰ لیتر آب اضافه کرده‌ایم. درصد آب و مواد جامد این دوغاب را محاسبه کنید. (وزن هر لیتر آب برابر با ۱kgاست).

حل: در ابتدا واحدها را یکسان می‌کنیم :

$$۳۰۰\text{ kg} = \text{وزن } ۳۰۰ \text{ لیترآب} \Rightarrow ۱\text{kg} = \text{وزن یک لیتر آب}$$

$$۹۰۰\text{kg} = ۳۰۰\text{kg آب} + ۶۰۰\text{kg مواد جامد} = \text{وزن کل دوغاب}$$

پس :

$$\Rightarrow \text{درصد آب موجود در دوغاب} = \frac{۳۰۰}{۹۰۰} \times ۱۰۰ = ۳۳/۳۳٪$$

$$\text{درصد مواد جامد موجود در دوغاب} = \frac{۶۰۰}{۹۰۰} \times ۱۰۰ = ۶۶/۶۷٪$$

$$\text{مجموع اجزاء} = ۳۳/۳۳ + ۶۶/۶۷ = ۱۰۰$$

توجه کنید که مجموع اجزا برابر ۱۰۰/۰۰٪ است.

مثال ۳: دانه‌بندی ۲گرم از یک پودر سرامیکی به‌صورت زیر است :

الف ــ ۱/۲۸۴ گرم از آن کوچک‌تر یا مساوی ۱μm است.

ب ـ ۰/۴۸۴ گرم از آن بزرگ‌تر از ۱μm و کوچک‌تر از ۵μm است.

ج ـ ۰/۲۳۲ گرم از آن بزرگ‌تر یا مساوی ۵μm است.

درصد هر یک از اندازه ذرات را محاسبه کنید.

حل : درصد ذرات کوچک‌تر از ۱μm $= \frac{۱/۲۸۴}{۲} \times ۱۰۰ = ۶۴/۲٪$

درصد ذرات بزرگ‌تر از ۱μm و کوچک‌تر از ۵μm $= \frac{۰/۴۸۴}{۲} \times ۱۰۰ = ۲۴/۲٪$

درصد ذرات بزرگ‌تر از ۵μm $= \frac{۰/۲۳۲}{۲} \times ۱۰۰ = ۱۱/۶٪$

مثال ۴ : یک بدنه‌ی سرامیکی حاوی ۲۱۵کیلوگرم بال‌کلی، ۲۱۰کیلوگرم کائولین، ۲۷۵کیلوگرم سیلیس و ۱۵۰کیلوگرم فلدسپات است. آمیز مذکور را بر حسب درصد پیدا کنید .

حل: ابتدا وزن کل را حساب می‌کنیم :

$۲۱۵\,kg + ۲۱۰\,kg + ۲۷۵\,kg + ۱۵۰\,kg = ۸۵۰\,kg$

حال خواهیم داشت :

درصد بال‌کلی $= \frac{۲۱۵}{۸۵۰} \times ۱۰۰ = ۲۵/۲۹٪$

درصد کائولین $= \frac{۲۱۰}{۸۵۰} \times ۱۰۰ = ۲۴/۷۱٪$

درصد سیلیس $= \frac{۲۷۵}{۸۵۰} \times ۱۰۰ = ۳۲/۳۵٪$

درصد فلدسپات $= \frac{۱۵۰}{۸۵۰} \times ۱۰۰ = ۱۷/۶۵٪$

مجموع اجزاء $۲۵/۲۹ + ۲۴/۷۱ + ۳۲/۳۵ + ۱۷/۶۵ = ۱۰۰$

توجه داشته باشید که گاهی اوقات ممکن است که مجموع اجزا برحسب درصد مساوی ۱۰۰/۰۰ نشود و مثلاً با مقادیری همچون ۹۹/۹۸ یا ۱۰۰/۱۰ یا ۱۰۰/۰۶ و یا... مواجه شویم. این وضعیت، به‌دلیل تقریبی است که ما در محاسبات به‌کار می‌بریم (چون اعداد را تا دو رقم پس از اعشار رُند می‌کنیم).

مثال ۵: می‌خواهیم آمیزی به وزن ۱۲۵۰کیلوگرم را با استفاده از مواد اوّلیه زیر، برای لعاب یک بدنه سرامیکی آماده کنیم. مقدار هر یک از اجزای لازم را برحسب kg محاسبه کنید.

۳۳/۳۹ قسمت	کوارتز
۳۶/۳۵ قسمت	کائولین
۱/۹ قسمت	دولومیت

سنگ آهک ۱۰/۲۸قسمت

بوراکس دی‌هیدراته ۲۶/۷۳ قسمت

سدیم کربنات ۳/۳۷ قسمت

حل: مشاهده می‌کنیم که آمیز ارائه شده بر حسب درصد نیست پس باید ابتدا درصد هر جزء را محاسبه کنیم. ابتدا به مجموع اجزای بالا احتیاج داریم که این مقدار برابر است با ۱۱۲/۰۲.

حال درصد هر جزء را محاسبه می‌کنیم.

$$\text{درصد کوارتز} = \frac{۳۳/۳۹}{۱۱۲/۰۲} \times ۱۰۰ = ۲۹/۸۱٪$$

$$\text{درصد کائولین} = \frac{۳۶/۳۵}{۱۱۲/۰۲} \times ۱۰۰ = ۳۲/۴۵٪$$

$$\text{درصد دولومیت} = \frac{۱/۹}{۱۱۲/۰۲} \times ۱۰۰ = ۱/۷۰٪$$

$$\text{درصد سنگ آهک} = \frac{۱۰/۲۸}{۱۱۲/۰۲} \times ۱۰۰ = ۹/۱۸٪$$

$$\text{درصد بوراکس دی‌هیدراته} = \frac{۲۶/۷۳}{۱۱۲/۰۲} \times ۱۰۰ = ۲۳/۸۶٪$$

$$\text{درصد سدیم کربنات} = \frac{۳/۳۷}{۱۱۲/۰۲} \times ۱۰۰ = ۳/۰۰٪$$

به این ترتیب آمیز لعاب را بر حسب درصد مواد اولیه به‌دست آوردیم. حال با ضرب کردن درصد هر یک از اجزاء در وزن کل، مقدار مورد نیاز هر یک از این اجزا را برحسب kg به دست می‌آوریم.

$$\text{مقدار کل} \times \frac{\text{درصد جزء}}{۱۰۰} = \text{مقدار جزء} \Rightarrow \frac{\text{مقدار جزء (با واحد معین)}}{\text{مقدار کل (با همان واحد)}} \times ۱۰۰ = \text{درصد جزء}$$

کوارتز مورد نیاز $= ۰/۲۹۸۱ \times ۱۲۵۰kg = ۳۷۲/۶۲kg$

کائولین مورد نیاز $= ۰/۳۲۴۵ \times ۱۲۵۰kg = ۴۰۵/۶۳kg$

دولومیت مورد نیاز $= ۰/۰۱۷۰ \times ۱۲۵۰kg = ۲۱/۲۵kg$

سنگ آهک مورد نیاز $= ۰/۰۹۱۸ \times ۱۲۵۰kg = ۱۱۴/۷۵kg$

بوراکس دی‌هیدراته مورد نیاز $= ۰/۲۳۸۶ \times ۱۲۵۰kg = ۲۹۸/۲۵kg$

سدیم کربنات مورد نیاز $= ۰/۰۳۰۰ \times ۱۲۵۰kg = ۳۷/۵kg$

مثال ۶ : برای ساخت یک قالب گچی نیاز به ۱۵کیلوگرم دوغابی از گچ و آب داریم. در صورتی‌که نسبت گچ به آب برابر با $\frac{۴}{۳}$ باشد، مقدار گچ و آب مورد نیاز را حساب کنید.

حل : برای محاسبه مقادیر گچ و آب، ابتدا باید درصد هریک را در مخلوط آب و گچ بدانیم.

با توجه به این‌که نسبت گچ به آب $\frac{۴}{۳}$ است، به‌ازای هر چهار قسمت گچ سه قسمت آب نیاز داریم. پس مجموعاً ۳ + ۴ قسمت مواد (شامل گچ و آب) داریم و درنتیجه :

$$\text{درصد جزء} = \frac{\text{مقدار جزء}}{\text{مقدار کل}} \times ۱۰۰$$

$$\text{درصد گچ} = \frac{۴}{۴+۳} \times ۱۰۰ = ۵۷/۱۴٪$$

$$\text{درصد آب} = \frac{۳}{۴+۳} \times ۱۰۰ = ۴۲/۸۵٪$$

$$\Rightarrow \text{مقدار گچ مورد نیاز} = \frac{۵۷/۱۴}{۱۰۰} \times ۱۵ = ۸/۷۵۱\text{kg}$$

$$\text{مقدار آب مورد نیاز} = \frac{۴۲/۸۵}{۱۰۰} \times ۱۵ = ۶/۴۲۸\text{kg}$$

در بعضی از قسمت‌های فرآیند ساخت قطعات سرامیکی با تغییرات وزن، ابعاد و ترکیب مواجه می‌شویم. این تغییرات نیز معمولاً بر حسب درصد بیان می‌شوند. برای بیان این گونه تغییرات، باید سه اصل را در نظر گرفت :

۱ــ تغییرات یک کمیّت یا خاصیت مورد نظر را می‌توان با استفاده از اختلاف بین حالت‌های اولیه و نهایی کمیّت یا خاصیت مورد نظر ارزیابی کرد. مثلاً اگر یک قطعه از طول اولیه ۷۰ واحد برخوردار بوده و در اثر گرم شدن، طول آن به ۷۴ واحد افزایش یافته است، مقدار تغییر طولی که صورت پذیرفته است برابر با ۴ واحد است.

۲ــ نسبت تغییرات در خاصیّت و کمیّت مورد نظر، با استفاده از رابطه‌ی زیر بیان می‌شود :

$$\text{نسبت تغییرات} = \frac{\text{مقدار تغییرات}}{\text{مقدار اولیه}} = \frac{\text{مقدار ثانویه} - \text{مقدار اولیه}}{\text{مقدار اولیه}}$$

در نتیجه برای مثال بالا خواهیم داشت :

$$\text{نسبت تغییرات طول} = \frac{۷۰-۷۴}{۷۰} = \frac{-۴}{۷۰}$$

۳ــ درصد تغییرات کمیّت مورد نظر عبارت خواهد بود از :

$$\text{درصد تغییرات} = \text{نسبت تغییرات} \times ۱۰۰ \quad \Rightarrow \text{درصد تغییرات طول} = \frac{-۴}{۷۰} \times ۱۰۰ =$$

(افزایش طول) $-۵/۷۱٪$

علامت منفی در این‌جا نشان‌دهنده‌ی انبساط است.

مثال ۷: طول اولیه‌ی یک میله فلزی ۴۰cm است. وقتی این میله را تا ۱۲۰۰°C حرارت می‌دهیم، طول آن تا ۴۱/۲cm افزایش می‌یابد. مقدار انبساط حرارتی این میله در دمای ۱۲۰۰°C را برحسب درصد حساب کنید. مقدار درصد انبساط حرارتی این میله‌ی فلزی را پس از سرد شدن به دمای محیط نیز محاسبه کنید.

حل : با توجه به آن‌چه گفته شد، خواهیم داشت :

$$\text{درصد تغییرات} = \frac{(\text{طول ثانویه} - \text{طول اولیه})}{\text{طول اولیه}} \times ۱۰۰$$

$$= \frac{(۴۰ - ۴۱/۲)}{۴۰} \times ۱۰۰ = \frac{-۱/۲}{۴۰} \times ۱۰۰$$

$= -۳٪$ علامت منفی نشانه انبساط است.

بدیهی است اگر میله فلزی تا دمای محیط سرد شود دوباره منقبض شده و به همان طول۴۰ cm خواهد رسید.

$$\text{درصد تغییرات پس از رسیدن به دمای محیط} = \frac{۴۰ - ۴۰}{۴۰} \times ۱۰۰ = ۰$$

مثال ۸ : 5g پودر یک بدنه‌ی استون ور را برای انجام آزمایش مقاومت در برابر اسید، داخل اسید هیدروژن کلرید می‌ریزیم. پس از اتمام آزمایش وزن نمونه به 4/99g کاهش یافته است. درصد افت وزن را محاسبه کنید.

حل :

$$\text{درصد تغییرات وزن} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰$$

$$= \frac{۵/۰۰ - ۴/۹۹}{۵/۰۰} \times ۱۰۰$$

$= ۰/۲٪$

مثال ۹ : یک بدنه‌ی رسی پس از پایان عملیات پخت، نسبت به حالت خشک خود ۸٪ افت وزن پیدا کرده است. در صورتی که وزن پس از پخت این قطعه 150gباشد، وزن اولیه این نمونه را (در حالت خشک) محاسبه کنید.

حل :

$$\text{درصد تغییرات وزن} = \frac{\text{مقدار تغییرات وزن}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰ = \frac{(\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه})}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰$$

پس :

$$\text{درصد تغییرات وزنی} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰ = ۸٪$$

(برای راحتی کار، وزن اولیه را با w_i* نمایش می‌دهیم) :

$$\frac{۸}{۱۰۰} = \frac{(w_i - ۱۵۰)}{w_i}$$

$$\Rightarrow \frac{۸}{۱۰۰} \times w_i = w_i - ۱۵۰ \quad \Rightarrow \quad w_i - \frac{۸}{۱۰۰} w_i = ۱۵۰ \quad \Rightarrow \quad \frac{۹۲}{۱۰۰} w_i = ۱۵۰$$

$$\Rightarrow w_i = \frac{۱۵۰}{۰/۹۲} = ۱۶۳g$$

تمرین

۱ــ می‌خواهیم با نسبت $\frac{۱}{۲۰۰}$ ، رنگدانه کبالت را به آمیزی اضافه کنیم، برای تهیه ۸ تن از این آمیز چه مقدار کبالت لازم است؟ این مقدار کبالت چه درصدی از کل آمیز را تشکیل خواهد داد؟

۲ــ حجم مفید (ظرفیت کلی) یک کوره $۴۲/۵m^۳$ ، و حجم ظروفی که با استفاده از ساگار در این کوره بارگیری می‌شوند، $۳۲/۳m^۳$ است.

الف ــ چه درصدی از حجم کوره توسط ظروف اشغال می‌شود؟

ب ــ نسبت بین حجم ظروف و فضای غیرمفید (فضای غیر قابل استفاده) در کوره چه مقدار است؟

۳ ــ نسبت وزنی یک ماده‌ی گدازآور (فلاکس) به‌صورت جدول (۱ــ۲) است. درصد وزنی مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن را محاسبه کنید.

جدول ۱ــ۲ــ نسبت وزنی یک ماده‌ی گدازآور

نام ماده	سرب اکسید	بوراکس	کوارتز	ارتوکلاز (فلدسپات پتاسیک)
نسبت وزنی	۸	۲	۳	۱

* ــ اندیس (i) از کلمه‌ی initial آمده است.

۴ ــ طول اولیه یک آجرنسوز ۱۴/۱۸۷cm و طول آن پس از پختن و سرد کردن به دمای محیط برابر با ۱۴/۱۲cm است. درصد تغییر طول این آجر را پس از حرارت دیدن و رسیدن به دمای محیط محاسبه کنید.

۵ ــ وزن یک قطعه رسی پس از پختن برابر با ۳۲/۴۱g است. در صورتی‌که افت وزنی این قطعه در نتیجه حرارت دادن ٪۱۲/۶ باشد، وزن اولیه آن را محاسبه کنید.

۶ ــ آمیز دو لعاب (الف) و (ب) در جدول (۲ــ۲) موجود است. درصد وزنی مواد تشکیل دهنده‌ی این دو لعاب را محاسبه کرده و مشخص کنید که کدام‌یک حاوی مقدار بیش‌تری سرب سیلیکات است.

جدول ۲ــ۲ــ دو آمیز از لعاب‌های (الف) و (ب)

نوع ماده	سرب سیلیکات	فریت بور و سیلیکاتی	کوارتز	کائولین
لعاب (الف)	۷۰/۵۰	۱۸۹/۹۰	۵۴/۰۰	۴۸/۲۰
لعاب (ب)	۵۸/۱۰	۱۸۳/۲۰	۱۹/۳۰	۱۳/۵۰

۷ ــ آزمایش‌های انجام شده روی یک نمونه بدنه‌ی سرامیکی خام نشان می‌دهد که درصد سیلیس موجود در آن ٪۶۸/۴۲ و افت حرارتی آن ٪۷/۸ است. درصد سیلیس این بدنه را پس از پخت محاسبه کنید.

فصل سوم

انقباض

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ انقباض خطی و حجمی را توضیح دهد.

۲ــ درصد انقباض خشک را محاسبه کند.

۳ــ درصد انقباض پخت را پیدا کند.

۴ــ درصد انقباض کل را محاسبه کند.

۵ــ کاربرد درصد انقباض را در تولید سرامیک‌ها شرح دهد.

۶ــ درصد انقباض حجمی را محاسبه کند.

۱ــ۳ــ انقباض خطی

۱ــ۱ــ۳ــ انقباض تر به خشک: حین خشک شدن، قطعات رسی رطوبت خود را از دست می‌دهند. این رطوبت در واقع آب آزادی است که در بین ذرات رسی قرار گرفته و امکان شکل‌دهی بدنه را فراهم می‌آورد. خارج شدن این رطوبت حین خشک شدن، غالباً با انقباضی همراه است، که به آن انقباض تر به خشک یا انقباض خشک گویند. عموماً قطعاتی که در شروع مرحله خشک شدن از رطوبت بالایی برخوردارند، انقباض خشک زیادی را از خود نشان می‌دهند. ما می‌توانیم مقدار این انقباض را برحسب درصد محاسبه کنیم.

در صورتی که طول قطعه را پیش از خشک شدن L_W و پس از خشک شدن L_D بنامیم، انقباض خشک را می‌توانیم با استفاده از رابطه (۱ــ۳) محاسبه کنیم :

در این رابطه S_D معرف انقباض خشک است.[۱]

رابطه (۱ــ۳)

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times ۱۰۰$$

---

۱ ــ W مخفف کلمه‌ی Wet (به معنی تر) D مخفف کلمه‌ی Dried (به معنی خشک شده)، L مخفف کلمه‌ی Length (به معنی طول) و S مخفف کلمه‌ی Shrinkage (به معنی انقباض) است.

مثال ۱: طول یک قطعه رسی در حالت تر ۱۵cm و پس از خشک شدن ۱۳/۵cm است. مقدار انقباض خشک این قطعه را برحسب درصد محاسبه کنید.

حل :

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times ۱۰۰$$

$$= \frac{۱۵ - ۱۳/۵}{۱۵} \times ۱۰۰ = ۱۰٪$$

مثال ۲ : در صورتی که قطر دهانه یک قوری پس از خشک شدن ۹/۶cm و مقدار انقباض خشک آن ۴٪ باشد، قطر دهانه‌ی آن را پیش از خشک شدن محاسبه کنید.

حل :

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times ۱۰۰ \Rightarrow ۰/۰۴ = \frac{L_W - ۹/۶}{L_W}$$

$$\Rightarrow ۰/۰۴\ L_W - L_W = -۹/۶ \Rightarrow L_W = ۱۰cm$$

توجه: دانش‌آموزان عزیز دقت فرمایند درصورتی که در امتحان کردن جواب مثال‌ها، دقیقاً به عدد فرض مسأله نمی‌رسند، علت این است که جواب مثال‌ها اغلب رُند (گرد) شده است.

مثال ۳ : قطر یک بشقاب چینی در حالت تر ۱۸/۶cm است. اگر میزان انقباض خشک آن ۲٪ باشد قطر بشقاب را پس از خشک شدن برحسب میلی‌متر به‌دست آورید.

حل :

$$۱۸/۶cm = ۱۸۶mm$$

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times ۱۰۰ \Rightarrow ۲ = \frac{۱۸۶ - L_D}{۱۸۶} \times ۱۰۰ \Rightarrow ۲ \times ۱۸۶ = ۱۸۶۰۰ - ۱۰۰L_D$$

$$\Rightarrow L_D = ۱۸۲/۲۸mm$$

۲ــ۱ــ۳ــ انقباض پخت (انقباض بین قطعه خشک و قطعه‌ی پخته شده): همان‌طور که می‌دانید بعد از خشک شدن، قطعات سرامیکی در دمای مناسب پخته می‌شوند. حین پخت، بعضی از اجزای آمیز ذوب شده و باعث پر شدن بخشی از خلل و فرج و فضاهای خالی قابل دسترس در داخل بدنه سرامیکی می‌شوند. مقدار این انقباض وابسته به آمیز و منحنی پخت است. محاسبات مربوط به این انقباض که آن را انقباض پخت می‌نامیم، شبیه به محاسباتی است که در قسمت قبلی و در مورد انقباض خشک ذکر شد.

در صورتی که طول قطعه خشک شده را L_D و طول قطعه پخته شده را L_F [1] بنامیم، درصد انقباض پخت، از طریق رابطه (۲ــ۳) محاسبه می‌شود.

$$S_F = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times ۱۰۰$$

رابطه (۲ــ۳)

بدیهی است که این انقباض نیز خطی است. به مثال زیر توجه کنید :

مثال ۴ : طول یک مقره چینی در حالت خشک ۶/۵۳cm است. پس از اتمام مرحله‌ی پخت (در دمای $۱۳۰۰^{\circ}C$) طول قطعه ۶/۱۸cm است. میزان انقباض پخت این قطعه را (برحسب درصد) محاسبه کنید.

حل :

$$S_F = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times ۱۰۰ \Rightarrow S_F = \frac{۶/۵۳ - ۶/۱۸}{۶/۵۳} \times ۱۰۰$$

$$\Rightarrow S_F = \frac{۰/۳۵}{۶/۵۳} \times ۱۰۰ = ۵/۳۶٪$$

۳ــ۱ــ۳ــ انقباض کل (انقباض بین قطعه تر و قطعه پخته شده): مجموع انقباضی که یک قطعه سرامیکی در بین مراحل شکل دادن و محصول نهایی انجام می‌دهد، شامل انقباض خشک و پخت است. اما توجه داشته باشید که مجموع انقباض‌های پخت و خشک را نمی‌توان برابر با انقباض کل گرفت زیرا مبنای استفاده شده در مورد این دو انقباض یکی نیست. برای فهم بهتر این مسأله، به مثال ۵ توجه کنید.

مثال ۵ : فرض کنید که طول علامت‌گذاری شده بر روی یک نمونه، به‌صورت زیر باشد.

$L_W = ۵۰mm$

$L_D = ۴۶mm$

$L_F = ۴۱mm$

الف ــ میزان انقباض کل را محاسبه کنید.

ب ــ مجموع انقباض‌های خشک و پخت را به‌دست آورده، نتیجه را با انقباض کل مقایسه کنید.

۱ــ F مخفف کلمه Fired (به معنی پخته شده) است.

حل :

الف ــ میزان انقباض کل از رابطه (۳ــ۳) به‌دست می‌آید.

رابطه (۳ــ۳)

$$\boxed{S_t = \frac{L_W - L_F}{L_W} \times ۱۰۰}$$ [۱]

$$\Rightarrow S_t = \frac{۵۰ - ۴۱}{۵۰} \times ۱۰۰ \Rightarrow S_t = \frac{۹}{۵۰} \times ۱۰۰ = ۱۸٪$$

ب ــ حال مجموع انقباض‌های خشک و پخت را نیز محاسبه می‌کنیم.

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times ۱۰۰ \Rightarrow S_D = \frac{۵۰ - ۴۶}{۵۰} \times ۱۰۰ \Rightarrow S_D = ۸٪$$

$$S_F = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times ۱۰۰ \Rightarrow S_F = \frac{۴۶ - ۴۱}{۴۶} \times ۱۰۰ \Rightarrow S_F = ۱۰/۹٪$$

$$S_D + S_F = ۸ + ۱۰/۹ = ۱۸/۹٪$$

حال نتایج به‌دست آمده را با هم مقایسه می‌کنیم :

مجموع انقباض خشک و پخت : $\boxed{S_D + S_F = ۱۸/۹٪}$

$\Rightarrow \quad \boxed{S_t \neq S_D + S_F}$

انقباض کل : $\boxed{S_t = ۱۸٪}$

مشاهده می‌کنیم که درصد انقباض کل با مجموع درصدهای انقباض خشک و پخت مساوی نیست. توجه داشته باشید که در هنگام طراحی قطعات و قالب‌ها حتماً از انقباض کل استفاده کنید.

مثال ۶ : می‌خواهیم قطر نهایی یک نعلبکی از جنس چینی ۹۰mm باشد. در صورتی که میزان انقباض پخت ٪۴/۶۲ و انقباض خشک ٪۳/۱۵ باشد و با در نظر گرفتن این‌که روش شکل دادن به صورت گل پلاستیک است، مطلوب است :

الف ــ قطر نعلبکی پس از خشک شدن

ب ــ قطر قالب اصلی

ج ــ انقباض کل

۱ــ t مخفف کلمه total (به معنی کل) است.

حل :

الف ــ با توجه به اطلاعات موجود، میزان انقباض پخت ٪۴/۶۲ و قطر نهایی ۹۰ میلی‌متر است. پس :

$$S_F = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times ۱۰۰ \Rightarrow ۴/۶۲ = \frac{L_D - ۹۰}{L_D} \times ۱۰۰$$

$$\Rightarrow ۴/۶۲L_D = ۱۰۰L_D - ۹۰۰۰ \Rightarrow L_D = ۹۴/۳mm$$ قطر نعلبکی پس از خشک شدن

ب ــ انقباض‌تر به خشک برابر با ٪۳/۱۵ و قطر نعلبکی خشک شده نیز ۹۴/۳mm است. پس :

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times ۱۰۰ \Rightarrow S_D = \frac{L_W - ۹۴/۳}{L_W} \times ۱۰۰$$

قطر قالب اصلی (و یا طول قطعه‌ی تر)

$$۳/۱۵ = \frac{L_W - ۹۴/۳}{L_W} \times ۱۰۰ \Rightarrow L_W = ۹۷/۳ \text{ mm}$$

ج ــ حال که طول اولیه و نهایی را محاسبه کرده‌ایم، می‌توانیم با استفاده از تغییر طول کلی، انقباض کل را به‌دست آوریم.

$$\text{تغییر طول کلی} = L_W - L_F = ۹۷/۳ - ۹۰ = ۷/۳mm$$

$$\Rightarrow S_t = \frac{L_W - L_F}{L_W} \times ۱۰۰ \Rightarrow S_t = \frac{۷/۳}{۹۷/۳} \times ۱۰۰ = ۷/۵٪$$

۲ــ۳ــ انقباض حجمی

در صورتی که تخمین دقیق‌تری از انقباض قطعات نیاز باشد، می‌توان به جای تغییرات طولی از تغییرات حجمی سود جست. اما باید توجه داشت که اندازه‌گیری انقباض حجمی معمولاً دشوارتر از انقباض خطی است و زمان بیش‌تری را باید صرف آن کرد. روش محاسبه‌ی درصد انقباض حجمی نیز بر اساس همان اصولی صورت می‌گیرد که تاکنون برای اندازه‌گیری انقباض خطی به‌کار بردیم. معمولاً در کارهای آزمایشگاهی مقدار انقباض حجمی یک ماده سرامیکی را سه برابر انقباض خطی آن در نظر می‌گیرند.

برای فهم بهتر و دقیق‌تر این موضوع، مکعبی از جنس یک ماده سرامیکی را در نظر می‌گیریم که طول ضلع آن در حالت اولیه a باشد. در صورتی که پس از اتمام فرایند مورد نظر، تغییر طولی برابر a' در اضلاع مکعب داشته باشیم، می‌توانیم درصد انقباض خطی را به شکل زیر بنویسیم.

$$\text{درصد انقباض خطی} = \frac{a'}{a} \times ۱۰۰$$

حال برای یافتن انقباض حجمی چنین عمل می‌کنیم :

$$\begin{cases} \text{حجم اولیه قطعه} = a^۳ \\ \Rightarrow \text{درصد انقباض حجمی} = \dfrac{a^۳ - (a-a')^۳}{a^۳} \times ۱۰۰ \\ \text{حجم نهایی قطعه} = (a-a')^۳ \end{cases}$$

$$\Rightarrow \text{درصد انقباض حجمی} = \frac{a^۳ - (a^۳ - ۳a'a^۲ + ۳a'^۲a - a'^۳)}{a^۳} \times ۱۰۰$$

$$= \frac{۳a'a^۲ - ۳a'^۲a + a'^۳}{a^۳} \times ۱۰۰$$

$$= \left[\frac{۳a'}{a} - ۳\left(\frac{a'}{a}\right)^۲ + \left(\frac{a'}{a}\right)^۳ \right] \times ۱۰۰$$

با توجه به این‌که a' از نظر مقدار به مراتب کوچک‌تر از a است، پس $\frac{a'}{a}$ از نظر مقدار کوچک‌تر از عدد ۱ است، بنابراین مقادیر $\left(\frac{a'}{a}\right)^۲$ و $\left(\frac{a'}{a}\right)^۳$ نیز بسیار کوچک هستند و می‌توان به‌طور تقریبی در مقابل $\frac{a'}{a}$ از آن‌ها صرف نظر کرد. در نتیجه عبارت قبل را می‌توان به‌صورت ساده‌تری نوشت :

$$\boxed{\text{درصد انقباض خطی} \times ۳ \simeq \text{درصد انقباض حجمی}} \Rightarrow \text{درصد انقباض حجمی} \simeq \frac{۳a'}{a} \times ۱۰۰$$

در صورتی که نخواهیم انقباض حجمی را با استفاده از انقباض خطی محاسبه کنیم، می‌توانیم حجم قطعه را به‌صورت دیگری اندازه‌گیری کنیم که البته این چنین اندازه‌گیری به‌ویژه در مورد اشکال

نامنظم هندسی و یا قطعات نسبتاً حجیم و یا قطعات خام، مشکلاتی را دربر دارد. در فصل بعد، با روش اندازه‌گیری حجم قطعات نامنظم هندسی آشنا خواهید شد.

تمرین

۱ ــ به منظور اندازه‌گیری انقباض یک نمونه از جنس چینی استخوانی، بر روی یک قسمت آن طولی به اندازه‌ی 5cm را علامت‌گذاری می‌کنیم، بعد از خشک شدن نمونه، طول علامت‌گذاری شده به ۴/۸۰ cm و بعد از پختن به ۴/۳۵ cm کاهش می‌یابد.

الف ــ درصد انقباض خشک ب ــ درصد انقباض پخت

ج ــ درصد انقباض کل را محاسبه کنید.

۲ــ طول یک قطعه سرامیکی پخته شده ۹/۲ cm است. در صورتی‌که مقدار انقباض خشک ٪۵/۶ باشد و مقدار انقباض پخت آن برابر با ٪۸/۵ باشد، الف ــ طول قطعه در حالت تر ب ــ طول قطعه در حالت خشک ج ــ درصد انقباض کل را محاسبه کنید.

۳ــ ابعاد یک آجر نسوز بعد از خروج از قالب دستگاه پرس ۹/۴mm×۳/۸mm×۴/۲mm است. در صورتی که انقباض حجمی کلی این آجر ٪۲۱/۵ باشد، مطلوب است: الف ــ حجم آجر قبل از پخت ب ــ ابعاد تقریبی آجر پخته شده.

۴ــ با استفاده از رابطه‌های انقباض خشک، پخت و کل اثبات کنید آیا مجموع انقباض خشک و پخت برابر با انقباض کل می‌باشد؟

فصل چهارم

چگالی

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ چگالی را تعریف کند.

۲ــ چگالی را محاسبه کند.

۳ــ انواع تخلخل‌ها را توضیح دهد.

۴ــ چگالی ظاهری، حقیقی و کلی را محاسبه کند.

۵ــ چگالی نسبی دوغاب را با داشتن حجم دوغاب و چگالی نسبی مواد موجود در آن، محاسبه کند.

۱ــ۴ــ چگالی

همه‌ی شما تاکنون با این پرسش روبه‌رو شده‌اید که یک کیلوگرم آهن سنگین‌تر است یا یک‌کیلوگرم پنبه؟ پاسخ این پرسش روشن است و مطمئناً همه‌ی شما به آن پاسخ صحیح خواهید داد. درواقع سؤال‌کننده با توجه به این واقعیت که یک کیلوگرم پنبه حجم بسیار بیش‌تری نسبت به یک کیلوگرم آهن دارد و یا به بیانی دیگر به دلیل کم‌تر بودن چگالی پنبه نسبت به چگالی آهن، قصد به‌اشتباه انداختن شما در ارائه جواب درست را دارد. با توجه به این توضیحات متوجه می‌شوید که **نسبت بین جرم هر ماده را به حجم آن، چگالی آن ماده می‌نامند.**

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ = چگالی

m = جرم

V = حجم

واحدهای متداول چگالی در سیستم SI، گرم بر سانتی‌مترمکعب (g/cm^3) و یا کیلوگرم برمترمکعب (kg/m^3) است.

مثال ۱: درصورتی که ۱۰۰g جیوه دارای حجمی برابر $۷/۳۵cm^۳$ باشد، چگالی جیوه چقدر خواهد بود؟

حل:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{۱۰۰g}{۷/۳۵cm^۳} \Rightarrow \quad ۱۳/۶۱g/cm^۳$$

مثال ۲: یک قطعه سیم فولادی به طول ۲۰cm و سطح مقطع $۲۰mm^۲$ و وزن ۳۱g موجود است، چگالی آن را حساب کنید.

حل: ابتدا باید حجم این قطعه را محاسبه کنیم. چون شکل سیم استوانه است، حجم آن برابر با حاصل‌ضرب مساحت قاعده در طول سیم است.

$$V = \pi r^۲ . h = ۲۰mm^۲ \times ۲۰۰mm = ۴۰۰۰mm^۳ = ۴cm^۳$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \quad \frac{۳۱g}{۴cm^۳} = ۷/۷۵g/cm^۳$$

تذکر: در هنگام محاسبه چگالی باید حتماً واحدهای به کار گرفته شده قید شود، همان‌طور که گفته شد، در بیش‌تر موارد چگالی یک ماده بر حسب $g/cm^۳$ و یا $kg/m^۳$ نوشته می‌شود. اما بعضی اوقات ممکن است با واحدهای متعارف دیگری (در سیستم انگلیسی) مثل پوند بر فوت مکعب $(\frac{lb}{ft^۳})$ نیز برخورد کنید. هنگامی که چگالی دو ماده را با هم مقایسه می‌کنید، حتماً از یک واحد یکسان برای چگالی آن‌ها استفاده کنید. به همین خاطر، ممکن است در بعضی از موارد اطلاعات مربوطه را از یک سیستم اندازه‌گیری به سیستم دیگر اندازه‌گیری تبدیل کنید تا مبنای مشترکی برای مقایسه داشته باشید.

مثال ۳: چگالی لیتارژ (PbO) برابر با $۹/۲g/cm^۳$ و چگالی سرنج $(Pb_۳O_۴)$ برابر با $۵۳۶\frac{lb}{ft^۳}$ است. چگالی کدام‌یک از این دو اکسید بیش‌تر است؟

حل: باید ابتدا چگالی سرنج را به واحد SI تبدیل کنیم.

$$۱\frac{lb}{ft^۳} = ۰/۰۱۶g/cm^۳ \quad \text{و} \quad ۱gr/cm^۳ = ۶۲/۵lb/ft^۳$$

$$\text{زیرا:} \quad ۱\frac{lb}{ft^۳} = \frac{۴۵۳/۵g}{(۳۰/۴۸)^۳cm^۳} = ۰/۰۱۶\frac{g}{cm^۳} \Rightarrow ۱g/cm^۳ = \frac{۱}{۰/۰۱۶}\frac{lb}{ft^۳} = ۶۲/۵\frac{lb}{ft^۳}$$

$$\Rightarrow \text{چگالی سرنج} = \frac{۵۳۶}{۶۲/۵} = ۸/۵۷۶g/cm^۳ \simeq ۸/۵۸g/cm^۳$$

پس چگالی لیتارژ از چگالی سرنج بیش‌تر است.

lb/ft^3	g/cm^3
۱	۰/۰۱۶
۶۲/۵	۱

چگالی نسبی: درصورتی که چگالی آب را به عنوان مبنا در نظر بگیریم و چگالی سایر مواد را نسبت به آن بسنجیم، نسبت حاصله که فاقد بُعد نیز خواهد بود، **چگالی نسبی** نامیده می‌شود.

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی ماده موردنظر}}{\text{چگالی آب}} \quad \text{(بدون واحد)}$$

مثال ۴: در صورتی که چگالی یک نمونه از جنس آلومینا (Al_2O_3) برابر با $3/98 g/cm^3$ باشد، چگالی نسبی آن چقدر خواهد بود؟

حل:
$$\text{چگالی نسبی} = \frac{3/98 g/cm^3}{1/00 g/cm^3} = 3/98$$

همان‌طور که گفته شد، چگالی نسبی فاقد بُعد و واحد فیزیکی است به عبارت دیگر از روی این عدد می‌توان فهمید که یک ماده به ازای واحد حجم چند بار سنگین‌تر از آب است.

مثال ۵: وزن یک تکه شیشه $14/26g$ و حجم آن $5/8 cm^3$ است. چگالی نسبی آن را حساب کنید.

حل:
$$\text{چگالی نسبی ماده} = \frac{\text{چگالی ماده موردنظر}}{\text{چگالی آب}}$$

$$\text{چگالی تکه شیشه} = \frac{14/26}{5/8}(g/cm^3) = 2/46(\frac{g}{cm^3})$$

$$\text{چگالی نسبی شیشه} = \frac{2/46(gr/cm^3)}{1(g/cm^3)} \Rightarrow \text{چگالی نسبی شیشه} = 2/46$$

مثال ۶: یک ظرف مخصوص اندازه‌گیری چگالی به حجم $50cc$ ($50cm^3$) با محلول آب‌نمک پر شده است. وزن ظرف و محلول موجود در آن برابر با $59/28g$ است. در صورتی که وزن ظرف خالی $42/34g$ باشد، چگالی نسبی آب نمک را حساب کنید.

$$\text{وزن محلول آب نمک} = 95/28 - 42/34 = 52/94g$$

$$\text{چگالی آب نمک} = \frac{\text{وزن محلول}}{\text{حجم محلول}} = \frac{۵۲/۹۴}{۵۰} = ۱/۰۶\,g/cm^۳$$

$$\text{چگالی نسبی آب نمک} = \frac{۱/۰۶}{۱/۰۰} = ۱/۰۶$$

۲ــ۴ــ استفاده از قانون ارشمیدس برای تعیین حجم

در بسیاری از موارد، نیاز به اندازه‌گیری حجم قطعاتی با اشکال پیچیده هندسی، برای به دست آوردن چگالی آن‌ها ضروری است. برای این منظور، می‌توانیم با استفاده از قانون ارشمیدس حجم‌های مورد نظر را با دقت بسیار بالایی اندازه‌گیری کنیم.

هرگاه جسمی در سیالی غوطه‌ور شود، به اندازه حجم سیالی که جابه‌جا می کند از وزن آن کاسته می‌شود. استفاده از این قانون به این ترتیب است که اگر ما جسم خود را در حالت خشک و در هوا توزین کنیم و مقدار حاصل را D بنامیم و سپس همین جسم را در حالت غوطه‌وری در سیال (که معمولاً آب است) توزین کنیم و این وزن را I بنامیم، خواهیم داشت :

$$\text{حجم قطعه} = \text{وزن مایع هم حجم جسم غوطه‌ور شده} = D - I^{۱}$$

اگر از آب به عنوان سیال استفاده کنیم، چون چگالی آن برابر با $۱/۰۰\,g/cm^۳$است، وزن و حجم آن ازنظر عددی برابر هستند. اما درصورتی که از سیال دیگری استفاده شود، برای محاسبه حجم مایع جابه‌جا شده (و در واقع حجم جسم) باید بدین ترتیب عمل کنیم :

$$\text{حجم سیال جابه‌جا شده (حجم جسم غوطه‌ور شده)} = \frac{D-I}{\rho}$$

که در این رابطه ρ چگالی سیال مورد استفاده است مثلاً اگر سیال الکل باشد به‌جای ρ عدد ۰/۸ و یا در مورد نفت عدد ۰/۸۲ قرار می‌گیرد. برای درک بهتر این موضوع، به این مثال‌ها توجه کنید :

مثال ۷: وزن یک قطعه فلز در هوا برابر با ۲۴/۶۳g و در حالت غوطه‌وری در آب برابر با ۱۹/۸۶g است. چگالی نسبی این قطعه فلز را محاسبه کنید.

حل:

می‌دانیم که قطعه فلز درحالت غوطه‌ور شده در آب، به اندازه حجم آب جابه‌جا شده سبک می‌شود. چون این حجم برابر با حجم قطعه است، می‌توان نوشت :

$$D = \text{وزن فلز در هوا}$$

$$D - I = \text{حجم جسم} = \text{وزن مایع هم حجم جسم غوطه‌ور شده}$$

۱ــ I : از وزن غوطه‌وری Immersion weight

$$\text{چگالی} = \frac{D}{D-I} = \frac{۲۴/۶۳}{۲۴/۶۳-۱۹/۸۶} = ۵/۱۶\,g/cm^۳$$

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی فلز}}{\text{چگالی آب}} = \frac{۵/۱۶}{۱} = ۵/۱۶$$

مثال ۸: وزن یک نمونه آزمایشگاهی ۲۰/۴۲g است هنگامی که این نمونه در پارافین مایع با چگالی (۰/۸۱۳g/cm^۳) غوطه‌ور می‌شود، وزن آن به ۱۵/۳۷g کاهش می‌یابد. چگالی نمونه را محاسبه کنید.

حل:

با توجه به قانون ارشمیدس کاهش وزن نمونه درحالت غوطه‌وری، برابر با وزن پارافین جابه‌جا شده است.

$$\text{کاهش وزن نمونه درحالت غوطه‌وری} = ۲۰/۴۲ - ۱۵/۳۷ = ۵/۰۵g$$

$$\text{حجم نمونه} = \text{حجم پارافین جابه‌جا شده} = \frac{D-I}{\rho} = \frac{۵/۰۵}{۰/۸۱۳} = ۶/۲۱cm^۳$$

$$\text{چگالی نمونه} = \frac{\text{وزن نمونه}}{\text{حجم نمونه}} = \frac{۲۰/۴۲g}{۶/۲۱cm^۳} = ۳/۲۹\,g/cm^۳$$

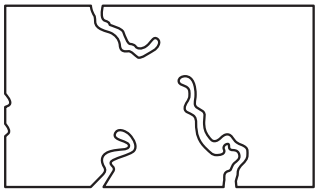
۱ــ۲ــ۴ــ جامدات متخلخل: بحث ما تاکنون دربرگیرنده‌ی مواد سرامیکی بود که از ساختاری بسیار ساده برخوردار بودند. اما با توجه به این‌که بیش‌تر مواد سرامیکی مخلوطی از چند جزء با حالات فیزیکی مختلف هستند، باید در مورد چنین شرایطی نیز صحبت کرد. مواد سرامیکی که در این‌جا در مورد آن‌ها صحبت می‌کنیم، قطعات سرامیکی متخلخل هستند.

۱ــ۱ــ۲ــ۴ــ قطعات سرامیکی متخلخل: اغلب قطعات سرامیکی با استفاده از مواد اولیه پودر شده تولید می‌شوند. به همین دلیل این قطعات در حالت خام دارای مقدار قابل توجهی فضای خالی خواهند بود که به دلیل قرارگرفتن ناپیوسته ذرات درکنار هم، ایجاد می‌شوند. ما این فضاهای خالی را تخلخل می‌نامیم. اگرچه بخش اعظمی از این فضاهای خالی درطی فرایند پخت از بین می‌روند، با این وجود دستیابی به یک قطعه عاری از تخلخل در اکثر مواقع غیرممکن و یا به شرایط پخت ویژه‌ای نیاز دارد. گاهی اوقات نیز قطعات را عمداً متخلخل می‌سازیم (مثل بدنه‌ی کاشی دیواری و آجر). به‌دلیل همراهی تقریباً همیشگی تخلخل‌ها در ساختار سرامیک‌ها و تأثیر مهّم آن‌ها بر

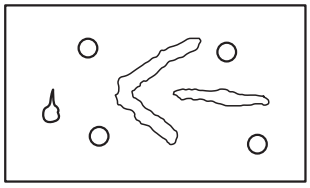
خواص مختلف قطعات سرامیکی، اطلاع از میزان و چگونگی توزیع آن‌ها، از اهمیت خاصی برخوردار است.

۲ــ۱ــ۲ــ۴ــ ساختمان تخلخل‌ها: به طورکلی در قطعات سرامیکی با دو دسته تخلخل روبه‌رو هستیم که آن‌ها را تخلخل باز و تخلخل بسته می‌نامیم.

تخلخل‌های باز آن دسته از فضاهای خالی در داخل قطعه هستند که به سطح قطعه، راه و ارتباط دارند. دلیل حضور این تخلخل‌ها، وجود تخلخل‌های اولیه در قطعه شکل داده شده، خروج گازهای حاصل از مواد فرّار درطی پخت و یا خروج آب درهنگام خشک شدن قطعه است. تخلخل‌های بسته هنگامی به وجود می‌آیند که گاز یا هوای موجود در قطعه در آن حبس شود و یا تخلخل‌های باز به وسیله مواد ذوب شده، بسته شوند. شکل‌های (۱ــ۴) و (۲ــ۴) به ترتیب وجود چنین تخلخل‌هایی را در یک قطعه نشان می‌دهند.



شکل ۱ــ۴ ــ تخلخل‌های باز در قطعه



شکل ۲ــ۴ ــ تخلخل‌های بسته در قطعه

۳ــ۱ــ۲ــ۴ــ محاسبه چگالی ظاهری، حقیقی و کلی: در قسمت‌های قبلی، چگالی یک ماده را به عنوان رابطه‌ی بین وزن وحجم آن تعریف کردیم. برای یک بدنه‌ی بدون تخلخل، تنها یک وزن و یک حجم وجود دارد. امّا در مورد قطعات متخلخل این‌چنین نیست و حجم‌های متعدد و درنتیجه چگالی‌های متعددی را می‌توان تعریف کرد.

برای قطعات متخلخل سه نوع حجم تعریف می‌شود که عبارتند از :

الف ــ حجم کلی یا توده‌ای[1]

مجموع حجم ماده‌ی جامد و حجم تخلخل‌های باز و بسته را حجم کلی گویند. این حجم را به سه روش می‌توان اندازه‌گیری کرد.

الف ــ اندازه‌گیری ابعاد نمونه، با استفاده از لوازم اندازه‌گیری طول (البته درمواردی که این امکان وجود داشته باشد.) مثلاً آجر متخلخلی با ابعاد $۸cm \times ۱۰cm \times ۲۲/۵cm$ دارای حجم کلی $۱۸۰۰cm^۳$ است.

---

۱ ــ حجم کلی یا توده‌ای Bulk Volume

ب ــ استفاده از روش جابه‌جایی جیوه، چون جیوه نمی‌تواند وارد تخلخل‌های باز شود.

ج ــ استفاده از اختلاف وزن بین حالتی که نمونه به طورکامل آب جذب کرده است (S) و زمانی که در حالت غوطه‌وری در آب قرار دارد (I). در این حالت مقدار (S − I) برابر با حجم کلی خواهد بود :

$$V_b = \text{حجم کلی} = (S - I)$$

ب ــ حجم ظاهری[1]

مجموع حجم ماده‌ی جامد و حجم تخلخل‌های بسته را حجم ظاهری گویند. این حجم را می‌توان با استفاده از اختلاف وزن قطعه‌ی خشک (اندازه‌گیری شده در هوا) و وزن قطعه غوطه‌ور شده محاسبه کرد. یعنی می‌توان نوشت :

$$V_a = \text{حجم ظاهری ماده متخلخل} = D - I$$

ج ــ حجم حقیقی[2]

حجم حقیقی تنها دربرگیرنده‌ی حجم جزء جامد است. این حجم را می‌توان با پودر کردن نمونه (به گونه‌ای که موجب از بین رفتن تمام تخلخل‌ها شود) و سپس استفاده از پیکنومتر، اندازه‌گیری کرد.

برای یک قطعه‌ی متخلخل، حجم‌های متعددی را می‌توان تعریف کرد. درحالی که همین قطعه فقط دارای یک وزن است زیرا از وزن هوای داخل تخلخل‌ها می‌توان صرف‌نظر کرد. بنابراین برای هر قطعه‌ی متخلخل سه نوع چگالی نیز می‌توان تعریف کرد، که عبارتند از :

$$\text{چگالی کلی (توده‌ای)} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم کلی یا توده‌ای قطعه}} = \frac{D}{S - I}$$

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم ظاهری قطعه}} = \frac{D}{D - I}$$

$$\text{چگالی حقیقی} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم حقیقی قطعه}} = \frac{D}{V_t}$$

فراموش نکنید که باید برای تمام این چگالی‌ها واحد نیز ذکر شود. درصورتی که برای وزن و حجم به ترتیب واحدهای گرم و سانتی‌متر مکعب مورد استفاده قرار گیرد، مقدار عددی چگالی برابر

---

۱ ــ حجم ظاهری Apparent Volume

۲ ــ حجم حقیقی True Volume

با مقدار چگالی نسبی متناظر با آن خواهد بود. مثلاً اگر یک ماده دارای چگالی ظاهری $3/2 g/cm^3$ باشد، چگالی نسبی ظاهری آن نیز ۳/۲ خواهد بود.

مثال ۹: وزن یک قطعه سرامیکی در حالت خشک برابر با ۱۴/۶۲g، درحالت جذب آب کامل برابر با ۱۶/۲۵g و در شرایط غوطه‌وری، برابر با ۸/۳۷g است. چگالی کلی و چگالی نسبی ظاهری این قطعه را محاسبه کنید.

حل :

$$\text{چگالی کلی} = \frac{\text{وزن قطعه در حالت خشک}}{\text{حجم کلی قطعه}} = \frac{D}{S-I}$$

$$= \frac{۱۴/۶۲}{(۱۶/۲۵-۸/۳۷)} = ۱/۸۵ g/cm^3$$

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن قطعه در حالت خشک}}{\text{حجم ظاهری قطعه}} = \frac{D}{D-I}$$

$$= \frac{۱۴/۶۲}{(۱۴/۶۲-۸/۳۷)} = ۲/۳۴ g/cm^3$$

$$\text{چگالی نسبی ظاهری} = \frac{\text{چگالی ظاهری}}{\text{چگالی آب}} = \frac{۲/۳۴}{۱} = ۲/۳۴$$

مثال ۱۰: با استفاده از اطلاعاتی که داده می‌شود، چگالی کلی دو جسم AوB را محاسبه کنید.

علامت قطعه	A	B
وزن خشک (D)	۱۲۰g	۹۲g
وزن قطعه بعد از جذب آب کامل (S)	۱۴۶g	۱۰۵g
وزن قطعه در حالت غوطه‌وری در آب (I)	۷۲g	۴۳g

حل:

$$\text{چگالی کلی} = \frac{\text{وزن قطعه خشک}}{\text{حجم کلی}}$$

اگر چگالی کلی را با علامت ρ_b نشان دهیم، آنگاه خواهیم داشت :

$$\rho_b = \frac{D}{S-I}$$

$$\text{برای جسم A}: \rho_b = \frac{۱۲۰}{۱۴۶-۷۲} = ۱/۶۲ g/cm^۳$$

$$\text{برای جسم B}: \rho_b = \frac{۹۲}{۱۰۵-۴۳} = ۱/۴۸ g/cm^۳$$

۴ــ۱ــ۲ــ۴ــ محاسبه درصد تخلخل ظاهری و حجم تخلخل‌ها: برای به دست آوردن درصد تخلخل ظاهری، باید حجم تخلخل‌های باز را به حجم قطعه تقسیم کنیم. می‌دانیم حجم تخلخل‌های باز از اختلاف بین S و D به دست می‌آید، در نتیجه خواهیم داشت :

$$\text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{\text{حجم تخلخل‌های باز}}{\text{حجم قطعه}} \times ۱۰۰$$

$$\begin{cases} \text{حجم تخلخل باز} = S-D \\ \text{حجم قطعه} = S-I \end{cases} \Rightarrow \text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{S-D}{S-I} \times ۱۰۰$$

مثال ۱۱: با توجه به اطلاعات مثال قبل درصد تخلخل ظاهری را برای جسم A و جسم B محاسبه کنید.

$$\text{درصد تخلخل ظاهری جسم A} = \frac{۱۴۶-۱۲۰}{۱۴۶-۷۲} \times ۱۰۰ = ۳۵/۱۳٪$$

$$\text{درصد تخلخل ظاهری جسم B} = \frac{۱۰۵-۹۲}{۱۰۵-۴۳} \times ۱۰۰ = ۲۰/۹۷٪$$

برای به‌دست آوردن درصد جذب آب، باید وزن آب جذب شده در تخلخل‌های باز را به وزن خشک قطعه تقسیم کنیم. رابطه‌ی درصد جذب آب بدین صورت خواهد بود :

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{\text{وزن آب جذب شده}}{\text{وزن خشک قطعه}} \times ۱۰۰ \xrightarrow{\text{بنابراین}} \text{درصد جذب آب} = \frac{S-D}{D} \times ۱۰۰$$

می‌دانیم که حجم حقیقی (v_t) (که از طریق آن چگالی حقیقی و درنتیجه چگالی نسبی حقیقی را تعیین می‌کنیم) تنها شامل اجزای جامد تشکیل‌دهنده‌ی جسم است و حجم کلی (v_b) دربرگیرنده‌ی حجم اجزای جامد و حجم تخلخل‌های باز و بسته است. پس اختلاف بین این دو حجم ($v_b - v_t$)، حجم تخلخل‌های موجود در جسم را مشخص می‌کند.

مثال ۱۲: نمونه‌ای از جنس آجر سیلیسی دارای ابعاد $۴\times۴\times۲cm^۳$ است. در صورتی که چگالی نسبی حقیقی آجر ۲/۳۹ و وزن این قطعه درحالت خشک ۷۲g باشد، مقدار تخلخل حقیقی آن را محاسبه کنید.

حل:

با توجه به این‌که چگالی نسبی (و درنتیجه چگالی) و جرم این نمونه را داریم، می‌توانیم حجم واقعی نمونه را محاسبه کنیم.

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho}$$

$$\text{حجم حقیقی} \Rightarrow V = \frac{۷۲}{۲/۳۹} = ۳۰/۱۳\text{cm}^۳$$

درواقع، با این عملیات از وزن هوای داخل تخلخل‌های جسم صرف‌نظر کردیم. اختلاف بین حجم محاسبه شده از رابطه‌ی قبلی و حجم نمونه، حجم تخلخل‌ها است. پس :

$$\text{حجم تخلخل} = \text{حجم کلی} - \text{حجم حقیقی}$$

$$\text{حجم کلی نمونه} = ۴\times۴\times۲\text{cm}^۳ = ۳۲\text{cm}^۳$$

$$\Rightarrow \text{حجم تخلخل} = ۳۲ - ۳۰/۱۳ = ۱/۸۷\text{cm}^۳$$

حال اگر این حجم را به حجم نمونه تقسیم کنیم و عدد حاصل را در ۱۰۰ ضرب کنیم، درصد تخلخل حقیقی به‌دست می‌آید که در واقع شامل تخلخل‌های باز و بسته است.

$$\text{درصد تخلخل حقیقی} = \frac{۱/۸۷}{۳۲}\times۱۰۰ = ۵/۸۴$$

مثال ۱۳: چگالی نسبی کلی یک آجر ۱/۷۰ و چگالی نسبی حقیقی آن ۲/۴۰ است. درصورتی که ابعاد یک تکه‌ی بریده شده از این آجر برابر با $۳\text{cm}\times۴\text{cm}\times۲\text{cm}$ باشد، مقدار آبی را که این نمونه می‌تواند جذب کند، محاسبه کنید (فرض کنید که تمام تخلخل‌های این قطعه باز باشند).

با توجه به آنچه تاکنون آموخته‌ایم، چگالی کلی و حقیقی این نمونه به ترتیب برابر با $۱/۷۰\text{g/cm}^۳$ و $۲/۴۰\text{g/cm}^۳$ خواهد بود.

$$\rho_b \text{ (چگالی کلی)} = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم کلی}} \Rightarrow ۱/۷۰ = \frac{m}{۳\times۴\times۲\text{cm}^۳}$$

$$\Rightarrow m \text{ (وزن نمونه)} = ۴۰/۸۰\text{g}$$

$$\rho_t \text{ (چگالی حقیقی)} = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم حقیقی}} \Rightarrow \text{حجم حقیقی} = \frac{۴۰/۸۰}{۲/۴۰} = ۱۷\text{cm}^۳$$

پس حجم اجزای جامد تشکیل‌دهنده‌ی این نمونه $۱۷\text{cm}^۳$ است. از اختلاف بین این حجم و حجم کلی نمونه، حجم تخلخل‌ها حاصل می‌شود. پس :

$$\text{حجم تخلخل‌ها} \quad ۲۴-۱۷ = ۷\text{cm}^۳$$

اگر این تخلخل‌ها همگی باز فرض شوند، به هنگام جذب آب کامل مقدار $۷cm^۳$ آب جذب نمونه خواهد شد.

مثال ۱۴: وزن یک نمونه متخلخل برابر با $۴۷/۳۰g$ است. اگر این قطعه را وارد جیوه کنیم، $۳۱۲g$ جیوه جابه‌جا می‌شود. چگالی کلی این ماده را محاسبه کنید. (چگالی جیوه برابر با $(۱۳/۶۰g/cm^۳$

حل: طبق قانون ارشمیدس هرگاه جسمی وارد سیالی شود، منجر به جابه‌جایی مقداری از سیّال که هم حجم خودش است، می‌شود. پس حجم این مقدار جیوه جابه‌جا شده با حجم نمونه برابر است.

$$\text{چگالی جیوه } \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{۳۱۲}{۱۳/۶۰} = ۲۲/۹۴cm^۳$$

چون جیوه برخلاف آب نمی‌تواند وارد تخلخل‌های جسم شود، این مقدار برابر با حجم کلی نمونه است. پس می‌توان نوشت :

$$(\text{چگالی کلی نمونه}) \quad \rho_b = \frac{m}{V} = \frac{۴۷/۳}{۲۲/۹۴}$$

$$\Rightarrow \quad \rho_b = ۲/۰۶g/cm^۳$$

۲ــ۲ــ۴ــ محاسبه‌ی چگالی دوغاب: دوغاب عبارت است از یک سوسپانسیون یا مخلوطی از یک مایع (معمولاً آب) و مواد اولیه سرامیکی، به شرط آن که ذرات جامد در مایع به صورت معلق قرار داشته باشند. چگالی نسبی دوغاب را نیز می‌توان از تقسیم چگالی آن بر چگالی آب به دست آورد. برای اندازه‌گیری چگالی، از بالن ژوژه با استوانه مدرج (مزور) استفاده می‌شود. با پرکردن بالن ژوژه از دوغاب موردنظر تا خط نشانه و توزین آن، پس از کم کردن وزن بالن ژوژه وزن دوغاب به‌دست می‌آید و سپس با تقسیم کردن این وزن برحجم آن، چگالی دوغاب به‌دست می‌آید و می‌توان با تقسیم این عدد بر چگالی آب، چگالی نسبی دوغاب را محاسبه کرد.

مثال ۱۵: به منظور اندازه‌گیری چگالی نسبی یک دوغاب سرامیکی از یک بالن ژوژه یک لیتری با وزن $۵۸۲/۸g$ استفاده کرده‌ایم. در صورتی که وزن این بالن ژوژه همراه با $۱۰۰۰cc$ دوغاب برابر با $۲۲۱۲/۸g$ باشد، چگالی و چگالی نسبی آن را محاسبه کنید.

حل :

$$\text{وزن دوغاب} = ۲۲۱۲/۸g - ۵۸۲/۸g = ۱۶۳۰g$$

$$\Rightarrow \text{چگالی دوغاب} = \frac{۱۶۳۰g}{۱۰۰۰cm^۳} = ۱/۶۳g/cm^۳$$

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی دوغاب}}{۱} = \frac{۱/۶۳}{۱} = ۱/۶۳$$

$\Rightarrow$ چگالی نسبی دوغاب = ۱/۶۳

تذکر: بعضی اوقات در صنعت ممکن است با اصطلاح وزن لیتری یا غلظت وزنی برخورد کنید. این تعریف گاهی به‌جای چگالی به‌کار می‌رود. در این اندازه‌گیری، وزن یک لیتر دوغاب را معیار قرار می‌دهیم. مسأله‌ای که اکنون مطرح می‌شود این است که اگر مقدار مشخصی از مواد پودر شده را با یکدیگر مخلوط کنیم، آیا می‌توانیم چگالی دوغاب حاصله را از طریق محاسبه به‌دست آوریم؟ پاسخ به این سؤال مثبت است. رابطه‌ای که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد، شکل گسترده‌تری از رابطه‌ی چگالی است و عبارتست از :

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع وزن اجزای دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای دوغاب}}$$

حال با استفاده از چند مثال، نحوه‌ی کاربرد این رابطه را نشان می‌دهیم.

مثال ۱۶ : با استفاده از ۱۶/۷۶kg از یک ماده‌ی اولیه سرامیکی (با چگالی نسبی ۲/۶۰) و ۸l آب، دوغابی تهیه شده است. چگالی دوغاب را محاسبه کنید.

حل : ابتدا حجم ماده‌ی اولیه مصرفی را محاسبه می‌کنیم. برای این منظور از رابطه‌ی چگالی استفاده می‌کنیم.

$$\text{حجم} = \frac{\text{وزن}}{\text{چگالی}} \Rightarrow \text{حجم پودر} = \frac{۱۶۷۶۰\text{g}}{۲/۶۰\text{g/cm}^۳}$$

$$\Rightarrow \text{حجم پودر} = ۶۴۴۶/۱۵\text{cm}^۳$$

از طرفی وزن ۸ لیتر آب برابر با ۸۰۰۰g است. با استفاده از رابطه‌ی زیر چگالی دوغاب را به‌دست می‌آوریم :

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع وزن اجزای دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای دوغاب}}$$

$$= \frac{(۱۶۷۶۰+۸۰۰۰)\text{g}}{(۶۴۴۶/۱۵+۸۰۰۰)\text{cm}^۳} = ۱/۷۱\text{g/cm}^۳$$

مثال ۱۷: با استفاده از ۲۰g رس کاملاً خشک با چگالی ۲/۶۲g/cm^۳ و ۳۰cm^۳ آب، دوغابی تهیه کرده‌ایم. چگالی و چگالی نسبی دوغاب را به دست آورید.

حل:

$$\text{حجم پودر} = \frac{\text{وزن پودر}}{\text{چگالی پودر}} \Rightarrow \frac{۲۰\text{g}}{۲/۶۲\text{g/cm}^۳} = ۷/۶۳\text{cm}^۳$$

با توجه به این‌که چگالی آب برابر ۱g/cm^۳ است درنتیجه ۳۰g = وزن ۳۰cm^۳ آب است.

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(۲۰+۳۰)g}{(۷/۶۳+۳۰)cm^۳} = ۱/۳۳ g/cm^۳ \Rightarrow$$

$$\text{چگالی نسبی دوغاب} = \frac{۱/۳۳}{۱} = ۱/۳۳$$

مثال ۱۸: چه حجمی از آب را باید به ۵۰g لعاب خشک (با چگالی $۲/۸۰ g/cm^۳$) اضافه کرد تا دوغاب لعابی با چگالی $۱/۶۵ g/cm^۳$ حاصل شود؟

حل:

برای محاسبه، به حجم لعاب خشک نیاز داریم. پس ابتدا آن را با استفاده از رابطه چگالی محاسبه می‌کنیم.

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \text{حجم لعاب خشک} = \frac{۵۰g}{۲/۸۰ g/cm^۳} = ۱۷/۸ cm^۳$$

می‌دانیم چگالی دوغاب نهایی باید برابر با $۱/۶۵ g/cm^۳$ باشد. پس خواهیم داشت :

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع جرم اجزا}}{\text{مجموع حجم اجزا}}$$

درصورتی که وزن و حجم آب لازم را به‌ترتیب x و y فرض کنیم، می‌توانیم بنویسیم :

$$۱/۶۵ = \frac{۵۰+x}{۱۷/۸+y}$$

از طرفی چگالی آب برابر با $۱/۰ gr/cm^۳$ است. درنتیجه وزن و حجم آب از نظر عددی یکسان است، یعنی :

$$x = y$$

$$\Rightarrow \quad ۱/۶۵ = \frac{۵۰+y}{۱۷/۸+y} \Rightarrow \quad y = ۳۱/۷ cm^۳$$ حجم آب موردنیاز

تذکر: بعضی اوقات ممکن است مجبور باشیم با افزودن آب یا مواد جامد خواص جریانی دوغاب را تصحیح کنیم. در چنین حالتی معمولاً دوغاب‌های برگشتی را با استفاده از افزودن آب یا مواد جامد به چگالی موردنظر رسانده و در صورت تنظیم نبودن ویسکوزیته دوغاب، پس از روانسازی مجدد، دوغاب حاصله وارد خط تولید می‌شود.

مثال ۱۹: در یک مخزن ۲۱۰ لیتری، دوغاب با چگالی نسبی ۲/۱۵ موجود است. چه مقدار آب به این مقدار دوغاب باید افزود تاچگالی نسبی آن به ۲/۰۰ کاهش یابد؟

حل:

ابتدا وزن دوغاب موجود را محاسبه می‌کنیم.

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho . V$$

$$\Rightarrow m = ۲/۱۵ g/cm^۳ \times ۲۱۰۰۰۰ cm^۳ = ۴۵۱۵۰۰ g$$

با توجه به اینکه چگالی آب $1 g/cm^۳$ است، وزن و حجم آن ازنظر عددی برابر هستند. پس اگر وزن آب مورد نیاز را x درنظر بگیریم، حجم آن نیز x خواهد بود. درنتیجه :

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع وزن اجزا}}{\text{مجموع حجم اجزا}}$$

$$\Rightarrow ۲/۰۰ = \frac{۴۵۱۵۰۰ + x}{۲۱۰۰۰۰ + x} \Rightarrow x = ۱۵۷۵۰ cm^۳$$

با توجه به این‌که هر لیتر برابر با ۱۰۰۰ سانتی‌مترمکعب است، $\text{حجم آب موردنیاز} = \frac{۱۵۷۵۰}{۱۰۰۰} = ۱۵/۷۵ l$

پس باید این مقدار آب را به دوغاب افزود تا چگالی آن به مقدار مورد نظر برسد.

تمرین

۱ــ جدول زیر را با استفاده از محاسبه‌ی مقادیر مربوط به وزن، حجم و چگالی کامل کنید.

	جرم	حجم	چگالی
شیشه	۴۱/۶۶g	۱۶/۸۰cm³	؟
پارافین	۳۹/۲۰g	۵۰/۰۰cm³	؟
آلومینیم اکسید	۸۴/۳۰g	؟ cm³	۳/۷۵g/cm³
آب	؟ g	۴/۰۰lit	۱/۰۰g/cm³
کائولین	؟ g	۶۲/۴cm³	۲/۵g/cm³
فولاد	۱ kg	؟ m³	۴۸۴lb/ft³

۲ــ چگالی نسبی الف) ماده‌ای با چگالی $۳۱۶ lb/ft^۳$ ب) یک قطعه چینی زجاجی به‌وزن ۵۲/۶۷g و حجم $۱۸/۶۰ cm^۳$ ج) مایعی با چگالی $۲/۹۵ g/cm^۳$ و د) یک تکه شیشه به‌وزن ۳/۲۶g و حجم $۱/۳۰ cm^۳$ را بیابید.

۳ــ در یک پیکنومتر (ظرف مخصوص اندازه‌گیری چگالی)، مقدار ۰/۵۸۵g از یک پودر سرامیکی به مقدار مشخصی آب اضافه شده است. درصورتی که چگالی نسبی این پودر ۲/۳۵ باشد، حجم آب جابه‌جا شده را محاسبه کنید.

۴ــ ظرفی به وزن ۴۸/۶۰g به وسیله مایعی با چگالی نسبی ۱/۵۷ پر شده است. در صورتی که وزن مجموع ظرف با مایع برابر با ۲۱۶/۳۰g باشد، حجم این ظرف را محاسبه کنید.

۵ــ درصد تخلخل، درصد جذب آب و چگالی ظاهری نمونه‌ای راکه وزن غوطه‌وری آن برابر با ۱۴۹g و وزن پس از جذب آب کامل آن برابر با ۳۴۲g و وزن خشک آن برابر با ۲۸۰g است، محاسبه کنید.

۶ــ وزن نمونه‌ای در هوا برابر با ۸۴/۱۰g و درحالت غوطه‌وری برابر با ۴۷/۳۰g است. در صورتی که مقدار تخلخل ظاهری این نمونه ٪۲۳/۶ باشد، چگالی کلی آن را حساب کنید.

۷ــ نمونه‌ای با چگالی نسبی ۲/۶۳ را تا درجه‌ی حرارت ۱۴۵۰°C حرارت داده‌ایم. بعد از حرارت دادن، چگالی نسبی آن به ۲/۳۴ کاهش می‌یابد. درصد افزایش حجم این نمونه را نسبت به‌حالت اولیه محاسبه کنید.

۸ــ چگالی دوغابی که از ۴۵g خاک رس خشک (با چگالی $2/50 g/cm^3$) و ۱۵۱g آب تهیه شده، چقدر است؟

۹ــ چند سانتی‌مترمکعب آب را باید به ۴۰g لعاب خشک (با چگالی نسبی ۲/۹۰) اضافه کنیم تا چگالی دوغاب برابر با $1/52 g/cm^3$ شود؟

فصل پنجم

تبدیل آنالیز شیمیایی و مینرالی به یکدیگر

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ با استفاده از فرمول شیمیایی چند کانی خالص، درصد اکسیدهای موجود درآن‌ها را تعیین کند.

۲ــ با استفاده ازفرمول شیمیایی مینرال‌های موجود در ماده اولیه، درصد اکسیدهای موجود در آن را تعیین کند.

۳ــ با استفاده از درصد اکسیدهای موجود در مواد اولیه، درصد مینرال‌های موجود در آن را تعیین کند.

۱ــ۵ــ تعیین درصد اکسیدهای موجود در مواد اولیه با استفاده از فرمول کانی

آشنایی با ترکیب شیمیایی مواد اولیه، از اهمیت فراوانی برخوردار است. همواره پیش از مصرف یک ماده در فرآیند تولید، باید از ترکیب شیمیایی و مینرالی آن اطلاعات کافی داشته باشیم. برای مثال اگر از یک خاک فلدسپاتی در بدنه استفاده می‌کنیم، باید نوع فلدسپات و میزان آن را بدانیم و بدانیم ترکیب شیمیایی آن بویژه از نظر اکسیدهای قلیایی چگونه است. حال با چند مثال ساده نحوه‌ی محاسبه‌ی اجزای شیمیایی را از روی فرمول مینرالی ماده نشان می‌دهیم.

مثال ۱: درصد اکسیدهای تشکیل‌دهنده مینرال کائولین را محاسبه کنید.

حل:

ابتدا فرمول شیمیایی کائولین را می‌نویسیم و وزن مولکولی آن را محاسبه می‌کنیم.

فرمول شیمیایی کائولین : $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$

وزن مولکولی $Al_2O_3 = 2\times27+3\times16=102$

وزن مولکولی $SiO_2 = 28/1+2\times16=60/1$

وزن مولکولی $H_2O = 2\times1+16=18$

$$\Rightarrow \text{وزن مولکولی کائولین} = ۱۰۲ + (۲\times۶۰/۱) + (۲\times۱۸) = ۲۵۸/۲$$

حال برای پیدا کردن درصد وزنی هریک از اجزا در **یک مول** کائولین ، وزن مولکولی هر جزء را به وزن مولکولی کل مینرال، تقسیم کرده و حاصل را در صد ضرب می‌کنیم.

$$Al_۲O_۳(*\ w٪) = \frac{۱۰۲}{۲۵۸/۲}\times۱۰۰ = ۳۹/۵۰٪$$

$$SiO_۲(w٪) = \frac{(۲\times۶۰/۱)}{۲۵۸/۲}\times۱۰۰ = ۴۶/۵۰٪$$

$$H_۲O(w٪) = \frac{(۲\times۱۸)}{۲۵۸/۲}\times۱۰۰ = ۱۴/۰۰٪$$

پس بر اساس محاسبات بالا در هر مول کائولینیت خالص، ٪۳۹/۵ آلومینیوم اکسید، ٪۴۶/۵ سیلیسیم اکسید و ٪۱۴ آب ($H_۲O$) وجود دارد.

مثال ۲: درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده ارتوکلاز (فلدسپات پتاسیک) را محاسبه کنید.

حل:

ابتدا فرمول شیمیایی ارتوکلاز (فلدسپات پتاسیک) را می‌نویسیم و وزن مولکولی آن را محاسبه می‌کنیم.

فرمول شیمیایی ارتوکلاز : $K_۲O.Al_۲O_۳.۶SiO_۲$

وزن مولکولی $K_۲O = ۲\times۳۹/۱ + ۱۶ = ۹۴/۲$

وزن مولکولی $Al_۲O_۳ = ۱۰۲$

وزن مولکولی $SiO_۲ = ۶۰/۱$

$$\Rightarrow \text{وزن مولکولی ارتوکلاز} = ۹۴/۲ + ۱۰۲ + (۶۰/۱\times۶) = ۵۵۶/۸$$

$$\text{درصد وزنی } K_۲O = \frac{۹۴/۲}{۵۵۶/۸}\times۱۰۰ = ۱۶/۹٪$$

$$\text{درصد وزنی } Al_۲O_۳ = \frac{۱۰۲}{۵۵۶/۸}\times۱۰۰ = ۱۸/۳٪$$

$$\text{درصد وزنی } SiO_۲ = \frac{۳۶۰/۶}{۵۵۶/۸}\times۱۰۰ = ۶۴/۸٪$$

مثال ۳: درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی مینرال آلبیت (فلدسپات سدیک) را محاسبه کنید.

فرمول شیمیایی آلبیت : $Na_۲O.Al_۲O_۳.۶SiO_۲$

وزن مولکولی $Na_۲O = ۲\times۲۳ + ۱۶ = ۶۲$

---

*ـ ٪w را درصد وزنی بخوانید.

Al_2O_3 وزن مولکولی $= ۱۰۲$

SiO_2 وزن مولکولی $= ۶۰/۱$

$\Rightarrow$ وزن مولکولی فلدسپات سدیک $= ۶۲ + ۱۰۲ + (۶ \times ۶۰/۱) = ۵۲۴/۶۰$

$$Na_2O \text{ درصد وزنی} = \frac{۶۲}{۵۲۴/۶۰} \times ۱۰۰ = ۱۱/۸۰ \%$$

$$Al_2O_3 \text{ درصد وزنی} = \frac{۱۰۲}{۵۲۴/۶۰} \times ۱۰۰ = ۱۹/۴ \%$$

$$SiO_2 \text{ درصد وزنی} = \frac{۳۶۰/۶}{۵۲۴/۶۰} \times ۱۰۰ = ۶۸/۸۰ \%$$

آموختیم که چگونه می‌توان از روی فرمول شیمیایی یا مولکولی یک ماده، درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن را محاسبه کنیم. معمولاً، مواد اولیه‌ای که در صنایع سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرند، بیش از یک مینرال دارند. در چنین مواردی باید علاوه بر فرمول هر کانی، درصد آن را نیز در ماده‌ی اولیه بدانیم تا بتوانیم درصد اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن را به دست آوریم. به مثال ۴ توجه کنید.

مثال ۴: جدول ۱ــ۵ آنالیز مینرالی یک نمونه ماده اولیه رسی را نشان می‌دهد که این ماده اولیه شامل ۸۵ درصد وزنی کائولین، ۱۵درصد ارتوکلاز (فلدسپات پتاسیک) است. درصد اکسیدهای مختلف موجود در این ماده اولیه را به‌دست آورید.

حل:

به‌طور تئوریک اجزای تشکیل‌دهنده‌ی هریک از مینرال‌های مذکور دارای مقادیر ذکر شده در جدول (۱ــ ۵) هستند.

جدول ۱ــ۵ــ اجزای تشکیل‌دهنده‌ی مینرال‌های کائولین و فلدسپات پتاسیک

اکسید (٪) / مینرال	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	H_2O
کائولین	۴۶/۵	۳۹/۵	–	۱۴
ارتوکلاز	۶۴/۸	۱۸/۳	۱۶/۹	–

با توجه به این که مینرال کائولین ٪۸۵ این ماده اولیه رسی را تشکیل می‌دهد، با استفاده از تناسب می‌توان میزان اکسیدهایی که همراه خود می‌آورد را بدین ترتیب محاسبه کرد. بنابراین درصد

هریک از مینرال‌های تشکیل‌دهنده‌ی این ماده اولیه را به عدد صد تقسیم کرده و سپس در درصد اکسیدهای موجود در آن مینرال ضرب می‌کنیم :

کائولین	درصد SiO_2
۱۰۰	۴۶/۵
۸۵	$x=\frac{۸۵}{۱۰۰}\times ۴۶/۵$

کائولین (۸۵٪) :
$$\begin{cases} SiO_2 = ۴۶/۵\times\frac{۸۵}{۱۰۰} = ۳۹/۵۳ \\ Al_2O_3 = ۳۹/۵\times\frac{۸۵}{۱۰۰} = ۳۳/۵۸ \\ H_2O = ۱۴\times\frac{۸۵}{۱۰۰} = ۱۱/۹ \end{cases}$$

فلدسپات پتاسیک (۱۵٪) :
$$\begin{cases} SiO_2 = ۶۴/۸\times\frac{۱۵}{۱۰۰} = ۹/۷۲ \\ Al_2O_3 = ۱۸/۳\times\frac{۱۵}{۱۰۰} = ۲/۷۴ \\ K_2O = ۱۶/۹\times\frac{۱۵}{۱۰۰} = ۲/۵۳ \end{cases}$$

سپس اعداد به‌دست آمده برای اکسیدهای مختلف را با هم جمع می‌کنیم :

$SiO_2 = ۳۹/۵۳ + ۹/۷۲ = ۴۹/۲۵$

$Al_2O_3 = ۳۳/۵۸ + ۲/۷۴ = ۳۶/۳۲$

$K_2O = ۰ + ۲/۵۳ = ۲/۵۳$

$H_2O = ۱۱/۹۰ + ۰ = ۱۱/۹$

۱۰۰(جمع اکسیدها)

هریک از مقادیر به‌دست‌آمده را می‌توان به‌عنوان درصد آن اکسید در ماده اولیه درنظر گرفت.

مثال ۵: اگر ماده اولیه زنوز نشسته از ٪ ۵۴ وزنی کوارتز، ٪ ۴۳ وزنی کائولین و ٪ ۳ وزنی کلسیت تشکیل شده باشد، درصد اکسیدهای موجود در این ماده اولیه را محاسبه کنید.

حل:

به‌طور تئوریکی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی هریک از مینرال‌های مذکور دارای مقادیر ذکر شده در جدول (۲ــ۵) هستند.

جدول ۲ــ۵ــ اجزای تشکیل دهنده‌ی کوارتز، کائولین و کلسیت

اکسید (٪) / مینرال	SiO_2	Al_2O_3	CaO	H_2O	CO_2
کوارتز	۱۰۰	–	–	–	–
کائولین	۴۶/۵	۳۹/۵	–	۱۴	–
کلسیت	–	–	۵۶/۱	–	۴۴

حال همانند مثال قبل، درصدهای هریک از مینرال‌های تشکیل‌دهنده ماده اولیه را در درصد اکسیدهای تشکیل‌دهنده آن مینرال ضرب می‌کنیم :

کوارتز (٪۵۴) : $SiO_2 = ۱۰۰ \times \frac{۵۴}{۱۰۰} = ۵۴/۰۰$

کائولین (٪۴۳) :
$$\begin{cases} SiO_2 = ۴۶/۵۰ \times \frac{۴۳}{۱۰۰} = ۲۰ \\ Al_2O_3 = ۳۹/۵۰ \times \frac{۴۳}{۱۰۰} = ۱۶/۹۸ \\ H_2O = ۱۴/۰۰ \times \frac{۴۳}{۱۰۰} = ۶/۰۲ \end{cases}$$

کلسیت (٪۳) :
$$\begin{cases} CaO = ۵۶/۱۰ \times \frac{۳}{۱۰۰} = ۱/۶۸ \\ CO_2 = ۴۴/۰۰ \times \frac{۳}{۱۰۰} = ۱/۳۲ \end{cases}$$

در این‌جا اعداد به دست آمده برای اکسیدهای مختلف را با هم جمع می‌کنیم :

$SiO_2 = ۵۴ + ۲۰ + ۰ = ۷۴$

$Al_2O_3 = ۰ + ۱۶/۹۸ + ۰ = ۱۶/۹۸$

$CaO = ۰ + ۰ + ۱/۶۸ = ۱/۶۸$

$H_2O = ۰ + ۶/۰۲ + ۰ = ۶/۰۲$

$CO_2 = ۰ + ۰ + ۱/۳۲ = ۱/۳۲$

۱۰۰/۰۰ (جمع اکسیدها)

هریک از مقادیر به‌دست آمده را می‌توان به عنوان درصد آن اکسید در ماده اولیه زنوز نشسته درنظر گرفت.

۲ــ۵ــ تعیین درصد مینرال‌های موجود در ماده‌ی اولیه با استفاده از آنالیز شیمیایی

اگرچه تنها از روی محاسبات نمی‌توان به‌طور مطلق نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی مواد اولیه را به آنالیز مینرالی تبدیل کرد، اما تخمین نسبی آنالیز مینرالی از روی آنالیز شیمیایی یکی از روش‌هایی است که مدت‌ها در ارزیابی مواد اولیه‌ی مصرفی از آن استفاده می‌شده است. به یاد داشته باشید که به‌منظور تعیین کمی و کیفی مینرال‌های موجود در یک ماده اولیه، تنها روش‌های دستگاهی و میکروسکوپی از دقت و اعتبار کافی برخوردارند. متداول‌ترین این روش‌ها، استفاده از پراش اشعه ایکس است.

با وجود آن‌چه گفته شد، در این قسمت با روش‌های محاسباتی آشنا می‌شویم که در گذشته با دقت قابل قبولی نیازهای استفاده‌کنندگان از آن‌ها را در تبدیل آنالیز شیمیایی به مینرالی برطرف کرده است.

همان‌طور که می‌دانید معمولاً آنالیز شیمیایی مواد را برحسب درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها بیان می‌کنند. مثلاً شکل ساده شده‌ی آنالیز شیمیایی کائولین قره‌آغاج در جدول (۳ــ۵) آورده شده است. با توجه به این‌که در یک ماده‌ی رسی این اجزای اکسیدی به شکل خالص وجود ندارند، از این‌رو دانستن ترکیب مینرالی آن از اهمیت خاصی برخوردار است. مینرال‌های اصلی تشکیل‌دهنده‌ی مواد اولیه‌ی رسی معمولاً عبارتند از : مواد رسی، فلدسپات، میکا و کوارتز.

جدول ۳ــ۵ــ آنالیز شیمیایی ساده شده کائولین قره‌آغاج

نوع اکسید	SiO_2	Al_2O_3	CaO	L.O.I[1]
درصد وزنی	۵۸/۰۰	۳۰/۰۰	۱/۰۰	۱۱/۰۰

با استفاده از یک سری محاسبات ساده و با توجه به مقادیر آنالیز شیمیایی می‌توانیم آنالیز مینرالی تقریبی ماده اولیه موردنظر را تعیین کنیم. حال به مراحل و چگونگی این روش[2] می‌پردازیم. با توجه به‌این‌که در آنالیز شیمیایی این ماده اولیه اکسید قلیایی وجود ندارد، پس می‌توان تمام Al_2O_3 موجود را به‌حضور مینرال کائولین در ماده اولیه نسبت دهیم. با توجه به این موضوع چنین عمل می‌کنیم :

$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	Al_2O_3
۲۵۸/۲ قسمت	۱۰۲ قسمت
x	۳۰

$$\Rightarrow x = \frac{۳۰ \times ۲۵۸/۲}{۱۰۲} = ۷۵/۹۴$$

۱ــ L.O.I مخفف عبارت Loss Of Ignition به معنی کاهش وزن در اثر حرارت

۲ــ به این روش در اصطلاح انگلیسی Rational Analysis گویند.

نتیجه‌ی حاصل از عمل تناسب‌بندی بیانگر این است که به ازای ۳۰ قسمت Al_2O_3 موجود در ماده اولیه، ۷۵/۹۴ قسمت کائولین خواهیم داشت. همان‌طور که از فرمول شیمیایی مینرال کائولین دیده می‌شود، مقداری SiO_2 در آن وجود دارد که اکنون میزان آن را محاسبه می‌کنیم.

$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	$2SiO_2$
۲۵۸/۲۰ قسمت	۱۲۰/۲۰ قسمت
۷۵/۹۴	x_1

$$x_1 = \frac{۷۵/۹۴ \times ۱۲۰/۲۰}{۲۵۸/۲۰} = ۳۵/۳۵$$ (مقدار SiO_2 موجود در ۷۵/۹۴ قسمت کائولین)

مقدار SiO_2 موجود در آنالیز شیمیایی جدول(۳ـ۵) برابر با ۵۸ است که از این مقدار ۳۵/۳۵ قسمت درکائولین است بنابراین، بقیه‌ی SiO_2 باید به‌صورت کوارتز در این ماده‌اولیه (قره‌آغاج) موجود باشد. پس خواهیم داشت :

$$\text{مقدار کوارتز} = ۵۸/۰۰ - ۳۵/۳۵ = ۲۲/۶۵$$

حال نوبت به CaO می‌رسد. وجود این اکسید در ماده‌اولیه، بیانگر وجود مینرالی کربناتی (مثلاً کلسیت) در خاک است :

$CaCO_3$	CaO
۱۰۰	۵۶
x_2	۱

$$\Rightarrow x_3 = \frac{۱۰۰}{۵۶} = ۱/۷۸$$ (مقدار کلسیت موجود در ماده‌اولیه)

حال مجموع مینرال‌ها را محاسبه می‌کنیم :

کائولین	۷۵/۹۴
+ کوارتز	۲۲/۶۵
+ کلسیت	۱/۷۸
	۱۰۰/۳۷

لازم به تذکر است که آن‌چه در این‌جا تحت عنوان مینرال کوارتز مطرح می‌شود، می‌تواند به‌صورت یکی دیگر از اشکال پلی‌مورف آن (مثلاً کریستوبالیت، کوارتز آزاد و ...) نیز، در ماده‌اولیه موجود باشد.

۱ــ۲ــ۵ــ محاسبه آنالیز مینرالی ماده اولیه رسی بر مبنای فلدسپات: در این روش فرض می‌کنیم که تمامی **اکسیدهای قلیایی** موجود در ترکیب شیمیایی ماده‌اولیه مورد نظر فقط ناشی از فلدسپات است. به عبارتی می‌توانیم از روی میزان اکسیدهای قلیایی به میزان فلدسپات موجود در ماده‌ی اولیه پی ببریم.

مثال ۶: آنالیز شیمیایی یک نوع خاک رس در جدول (۴ــ ۵) نشان داده شده است. مقدار مینرال‌های موجود در این خاک را محاسبه کنید.

جدول ۴ــ۵

نوع اکسید	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	کاهش وزن در اثر حرارت	جمع اکسیدها
درصد وزنی	۶۱/۳۰	۲۰/۲۰	۳/۴۰	۰/۲۰	۰/۲۴	۱/۰	۱/۰۵	۲/۳۵	۱۰/۹۰	۱۰۰/۶۴

حل:

معمولاً برای آسان‌تر کردن محاسبه، اگر مقدار درصد Na_2O موجود در آنالیز شیمیایی کوچک بوده و کمتر از K_2O موجود در آن بود، مجموع Na_2O و K_2O را به‌دست می‌آوریم و مجموع این دو اکسید را به وجود فلدسپات پتاسیم در خاک نسبت می‌دهیم و بالعکس.

$$K_2O + Na_2O = ۲/۳۵ + ۱/۰۵ = ۳/۴۰$$

براساس آن‌چه قبلاً دیدیم، می‌توانیم با استفاده از یک تناسب ساده مقدار فلدسپات پتاسیک موجود را به‌دست آوریم :

$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	K_2O
۵۵۶/۸	۹۴/۲
x	۳/۴۰

$$\Rightarrow x = \frac{۳/۴۰ \times ۵۵۶/۸}{۹۴/۲}$$

$$\Rightarrow x = ۲۰/۰۹ \text{ مقدار فلدسپات پتاسیک}$$

این مقدار فلدسپات بخشی از Al_2O_3 و SiO_2 موجود در آنالیز شیمیایی را نیز مصرف‌می‌کند.

$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	Al_2O_3
۵۵۶/۸	۱۰۲
۲۰/۰۹	x_1

$\Rightarrow x_1 = \frac{۲۰/۰۹ \times ۱۰۲}{۵۵۶/۸}$ (مقدار Al_2O_3 موجود در ۲۰/۰۹ قسمت فلدسپات پتاسیک)

$\Rightarrow \quad x_1 = ۳/۶۸$

$K_2O.Al_2O_3.۶SiO_2$	$۶SiO_2$
۵۵۶/۸	(۶×۶۰/۱)
۲۰/۰۹	x_2

$\Rightarrow x_2 = \frac{۲۰/۰۹ \times ۳۶۰/۶}{۵۵۶/۸}$

$\Rightarrow \quad x_2 = ۱۳/۰۱$ (مقدار SiO_2 موجود در ۲۰/۰۹ قسمت فلدسپات پتاسیک)

حال مقدار Al_2O_3 باقی‌مانده در آنالیز شیمیایی را محاسبه می‌کنیم. سپس آن را به‌وجود کائولین نسبت می‌دهیم.

= (مقدار Al_2O_3 ناشی از فلدسپات پتاسیک) ـ (مقدار Al_2O_3 در آنالیز شیمیایی)

(مقدار Al_2O_3 باقی‌مانده)

$۲۰/۲۰ - ۳/۶۸ = ۱۶/۵۲$

$Al_2O_3.۲SiO_2.۲H_2O$	Al_2O_3
۲۵۸/۲	۱۰۲
y	۱۶/۵۲

$\Rightarrow y = \frac{۱۶/۵۲ \times ۲۵۸/۲}{۱۰۲}$

$\Rightarrow \quad y = ۴۱/۸۱$ (مقدار کائولین موجود در ماده اولیه)

اکنون باید مجدداً مقدار SiO_2 موجود در ۴۱/۸۱ قسمت کائولین را نیز محاسبه کنیم :

$Al_2O_3.۲SiO_2.۲H_2O$	$۲SiO_2$
۲۵۸/۲	(۲×۶۰/۱)
۴۱/۸۱	y_1

$\Rightarrow y_1 = \frac{۴۱/۸۱ \times ۱۲۰/۲}{۲۵۸/۲}$ (مقدار SiO_2 موجود در ۴۱/۷۶ قسمت کائولین)

$\Rightarrow \quad y_1 = ۱۹/۴۶$

اکنون مجموع SiO_2 موجود در فلدسپات پتاسیک و کائولین را از مقدار کل SiO_2 (در آنالیز شیمیایی) کم می‌کنیم. باقی‌مانده SiO_2 را به عنوان مینرال کوارتز منظور می‌کنیم.

(SiO_2 موجود در فلدسپات پتاسیک + SiO_2 موجود در کائولین) – SiO_2 کل = کوارتز

$$\Rightarrow \text{کوارتز} = ۶۱/۳۰ - (۱۹/۴۶ + ۱۳/۰۱)$$

$$\Rightarrow \text{کوارتز} = ۲۸/۸۳$$

اطلاعات بعدی را از روی مقدار افت حرارتی به‌دست می‌آوریم. برای این منظور در مرحله‌ی اول، کاهش وزن بر اثر خروج آب مولکولی از مینرال کائولین را محاسبه می‌کنیم.

$$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O \qquad 2H_2O$$

$$۲۵۸/۲ \qquad (۲\times۱۸)$$

$$۴۱/۸۱ \qquad y_2$$

$$y_2 = \frac{۴۱/۸۱ \times ۳۶}{۲۵۸/۲}$$

$$\Rightarrow y_2 = ۵/۸۲ \qquad \text{(افت حرارتی ناشی از خروج آب مولکولی از کائولین)}$$

با کم کردن این مقدار کاهش وزن از کل کاهش وزن در آنالیز شیمیایی ماده اولیه، باقی‌مانده کاهش وزن که ناشی از خروج مواد آلی مثل CO_2 و سایر مواد فرّار خواهد بود، به‌دست می‌آید :

(افت حرارتی ناشی از خروج آب مولکولی کائولین)–(افت حرارتی کل) (افت حرارتی ناشی از خروج مواد آلی CO_2 و سایر اجزای فرّار)=

$$۱۰/۹۰ - ۵/۸۲ = ۵/۰۸$$

با توجه به کلیه مقادیر محاسبه شده، آنالیز مینرالی ماده اولیه موردنظر به‌صورت جدول (۵ــ۵) می‌باشد.

جدول ۵ــ۵

$\frac{۱۰۰}{۱۰۰/۶۵ - ۵/۰۸} = ۱/۰۴۶$ در هریک ازدرصدها ضرب شود.

نوع ماده	درصد وزنی با مواد فرّار	درصدوزنی بدون مواد فرّار
کائولین	۴۱/۸۱	۴۳/۷۳
فلدسپات پتاسیک	۲۰/۰۹	۲۱/۰۱
کوارتز	۲۸/۸۳	۳۰/۱۶
Fe_2O_3	۳/۴۰	۳/۵۶
TiO_2	۰/۲۰	۰/۲۱
MgO	۰/۲۴	۰/۲۵
CaO	۱	۱/۰۵
ماده آلی، CO_2 و سایر مواد فرار	۵/۰۸	۰
جمع	۱۰۰/۶۵	۹۹/۹۷

همانطور که مشاهده می‌کنید جمع نهایی به جمع اکسیدهای جدول (۴ــ۵) بسیار نزدیک است.

با توجه به این‌که ماده آلی و سایر مواد فرّار درحین حرارت دادن از ماده اولیه خارج می‌شوند مرسوم است که مقدار آن‌ها از جمع مینرالی ماده اولیه حذف گردیده و مجموع باقیمانده‌ی منیرال‌ها و اکسیدها به عدد ۱۰۰ تبدیل شود. با توجه به توضیح بالا، اعداد موجود در ستون (درصد وزنی با مواد فرّار) جدول(۵ ــ ۵) با حذف مواد فرّار به صورت اعداد ستون درصد وزنی بدون مواد فرّار درمی‌آید.

۲ــ۲ــ۵ــ محاسبه آنالیز مینرالی ماده اولیه رسی بر مبنای میکا: پس از استفاده طولانی از روش محاسباتی بر مبنای فلدسپات، مطالعات انجام شده با استفاده از روش پراش اشعه ایکس، این ایده را مطرح ساخت که قلیایی‌های موجود، معمولاً ناشی از وجود میکا هستند. این ایده باعث شد که استفاده‌کنندگان روش محاسباتی تبدیل آنالیز شیمیایی به مینرالی مواد اولیه رسی، مبنای محاسبات خود را بر میکا استوار سازند. تمامی محاسبات انجام شده در این مورد مشابه روش ذکر شده در قسمت قبل است و تنها تفاوت نسبت دادن قلیایی‌ها به میکا به جای فلدسپات است.

مثال ۷: با درنظر گرفتن آنالیز شیمیایی موجود درجدول (۴ــ۵)، مینرال‌های موجود در این ماده اولیه را برمبنای میکا محاسبه کنید.

حل: برای شروع محاسبات، K_2O موجود در آنالیز شیمیایی را ناشی از میکا پتاسیک و Na_2O را ناشی از میکا سدیک درنظر می‌گیریم.

(میکا پتاسیک) $K_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$	K_2O
۷۹۶/۸	۹۴/۲
x	۲/۳۵

$$\Rightarrow x = \frac{۲/۳۵ \times ۷۹۶/۸}{۹۴/۲}$$

$$\Rightarrow x = ۱۹/۸۷$$ (مقدار میکا پتاسیک ناشی از ۲/۳۵ درصد پتاسیم اکسید)

حال مقدار Al_2O_3 موجود در ۱۹/۸۷ قسمت میکای پتاسیک را محاسبه می‌کنیم.

$K_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$	$3Al_2O_3$
۷۹۶/۸	(۳×۱۰۲)
۱۹/۸۷	x_1

$$\Rightarrow x_1 = \frac{۱۹/۸۷ \times ۳۰۶}{۷۹۶/۸}$$

$$\Rightarrow x_1 = ۷/۶۳$$

(مقدار Al_2O_3 موجود در ۱۹/۸۷ قسمت میکای پتاسیک)

اکنون مقدار SiO_2 موجود در ۱۹/۸۷ قسمت میکای پتاسیک را محاسبه می‌کنیم :

$$K_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O \qquad 6SiO_2$$
$$796/8 \qquad (6\times60/1)$$
$$19/87 \qquad x_2$$

$$\Rightarrow x_2 = \frac{19/87\times360/6}{796/8} \Rightarrow$$ (مقدار SiO_2 موجود در ۱۹/۸۷ قسمت میکای پتاسیک)

$$x_2 = 8/99$$

اکنون مقدار میکای سدیک را محاسبه کنیم.

وزن مولکولی میکای سدیک ۷۶۴/۶

$$Na_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O \text{ (میکای سدیک)} \qquad Na_2O$$
$$764/6 \qquad 62$$
$$y \qquad 1/05$$

$$\Rightarrow y = 12/94$$ (مقدار میکای سدیک ناشی از ۱/۰۵ درصد Na_2O)

اکنون، به ترتیب مقادیر Al_2O_3 و SiO_2 موجود در ۱۲/۹۴ قسمت میکای سدیک را محاسبه می‌کنیم :

$$Na_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O \qquad 3Al_2O_3$$
$$764/6 \qquad (3\times102)$$
$$12/94 \qquad y_1$$

$$\Rightarrow y_1 = \frac{12/94\times306}{764/6} = 5/17$$ (مقدار Al_2O_3 موجود در میکای سدیک)

$$Na_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O \qquad 6SiO_2$$
$$764/6 \qquad (6\times60/1)$$
$$12/94 \qquad y_2$$

$$\Rightarrow y_2 = \frac{12/94\times360/6}{764/6} = 6/10$$ (مقدار SiO_2 موجود در میکای سدیک)

در این‌جا مجموع Al_2O_3 موجود در میکای پتاسیک و میکای سدیک را محاسبه می‌کنیم.

$$7/63 + 5/17 = 12/8$$

مقدار Al_2O_3 باقی‌مانده که آن را می‌توان به کائولین ارتباط داد، برابر خواهد بود با :

$۷/۴ = ۱۲/۸$ (مجموع $Al_۲O_۳$ موجود در میکای سدیک و پتاسیک) $-۲۰/۲۰$ $Al_۲O_۳$ (کل)

بنابراین، مقدار کائولین موجود در ماده اولیه برابر خواهد بود با :

$Al_۲O_۳.۲SiO_۲.۲H_۲O$	$Al_۲O_۳$
۲۵۸/۲	۱۰۲
Z	۷/۴

$$\Rightarrow Z = \frac{۷/۴ \times ۲۵۸/۲}{۱۰۲} = ۱۸/۷۳$$ (مقدار کائولین موجود در ماده اولیه)

مقدار $SiO_۲$ موجود در ۱۸/۷۳ قسمت کائولین برابر خواهد بود با :

$Al_۲O_۳.۲SiO_۲.۲H_۲O$	$۲SiO_۲$
۲۵۸/۲	۱۲۰/۲
۱۸/۷۳	$Z_۱$

$$\Rightarrow Z_۱ = \frac{۱۸/۷۳ \times ۱۲۰/۲}{۲۵۸/۲} = ۸/۷۲$$ (مقدار $SiO_۲$ موجود در کائولین)

حال مقدار $SiO_۲$ موجود در هر یک از مینرال‌های میکای پتاسیک، میکای سدیک و کائولین را با هم جمع می‌کنیم. با کم کردن عدد حاصله از $SiO_۲$ کل، مقدار مینرال کوارتز حاصل خواهد شد :

$۶۱/۳۰ - (۸/۹۹ + ۶/۱۰ + ۸/۷۲) = ۳۷/۴۹$ (کوارتز) ($SiO_۲$ کل)

اکنون افت حرارتی حاصل از خروج آب مولکولی مینرال‌های میکای پتاسیک، میکای سدیک و کائولین موجود در ماده اولیه را محاسبه می‌کنیم :

$K_۲O.۳Al_۲O_۳.۶SiO_۲.۲H_۲O$	$۲H_۲O$
۷۹۶/۸	(۲×۱۸)
۱۹/۸۷	$x_۳$

$$\Rightarrow x_۳ = \frac{۱۹/۸۷ \times ۳۶}{۷۹۶/۸} = ۰/۸۹$$ (آب مولکولی موجود در ۱۹/۸۷ قسمت میکای پتاسیک)

$Na_۲O.۳Al_۲O_۳.۶SiO_۲.۲H_۲O$	$۲H_۲O$
۷۶۴/۶	(۲×۱۸)
۱۲/۹۴	$y_۳$

(آب مولکولی موجود در ۱۵/۴۰ قسمت میکای سدیک) $\Rightarrow y_{۳} = \frac{۱۲/۹۴ \times ۳۶}{۷۶۴/۶} = ۰/۶۰$

$Al_{۲}O_{۳}.۲SiO_{۲}.۲H_{۲}O$ $\quad$ $۲H_{۲}O$

۲۵۸/۲ $\quad$ (۲×۱۸)

۱۸/۷۳ $\quad$ $Z_{۲}$

$\Rightarrow Z_{۲} = \frac{۱۸/۷۳ \times ۳۶}{۲۵۸/۲} = ۲/۶۱$ (آب مولکولی موجود در ۱۵/۹۳ قسمت کائولین)

$\Rightarrow$ افت حرارتی ناشی از خروج آب مولکولی سه مینرال $= ۰/۸۹ + ۰/۶ + ۲/۶۱ = ۴/۱$

بنابراین، افت حرارتی ناشی از وجود مواد آلی، ($CO_{۲}$) و غیره برابر خواهد بود با :

۱۰/۹۰ − (۰/۸۹ + ۰/۶ + ۲/۶۱) = ۶/۸ (کل مواد فرّار در آنالیز شیمیایی)

در نتیجه آنالیز مینرالی محاسبه شده به‌صورت جدول (۶ــ۵) خواهد بود.

جدول ۶ــ ۵

نوع ماده	قسمت وزنی
میکای پتاسیک	۱۹/۸۷
میکای سدیک	۱۲/۹۴
کائولین	۱۸/۷۳
کوارتز	۳۷/۴۹
$Fe_{۲}O_{۳}$	۳/۴
$TiO_{۲}$	۰/۲
MgO	۰/۲۴
CaO	۱
مواد فرّار	۶/۸
جمع	۱۰۰/۶۷

در قسمت‌های قبل گفتیم که اگر مقدار $Na_{۲}O$ موجود در ماده اولیه نسبت به $K_{۲}O$ کوچک و قابل صرف نظر کردن باشد، مجموع مقادیر $Na_{۲}O$ و $K_{۲}O$ را به عنوان فلدسپات پتاسیک در نظر می‌گیریم. در صورتی که مقدار و نسبت این دو قلیایی به این صورت نباشد، باید $Na_{۲}O$ را جداگانه به فلدسپات سدیک تبدیل کنیم. مثال ۸ بیانگر چنین حالتی است. برای صرفه‌جویی در وقت تنها به ذکر محاسبات بسنده کرده و از دادن توضیحات مجدد خودداری می‌کنیم.

مثال ۸: آنالیز شیمیایی ماده‌ی اولیه‌ای به صورت جدول (۷ــ۵) است، آنالیز مینرالی آن را محاسبه کنید.

جدول ۷ــ ۵

نوع اکسید	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	Na_2O	K_2O	افت حرارتی	جمع
درصد وزنی	۷۱/۴۴	۱۶/۵۴	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۰۹	۳/۱۰	۴/۱۳	۴/۲۶	۱۰۰

$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ K_2O

۵۵۶/۸ ۹۴/۲

x ۴/۱۳

$$\Rightarrow \quad x = \frac{۴/۱۳ \times ۵۵۶/۸}{۹۴/۲} = ۲۴/۴۱$$

مقدارفلدسپات پتاسیک موجود درماده اولیه

$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ Al_2O_3

۵۵۶/۸ ۱۰۲

۲۴/۴۱ x_1

مقدار Al_2O_3 موجود در ۲۴/۴۱ قسمت فلدسپات پتاسیک

$$\Rightarrow x_1 = \frac{۲۴/۴۱ \times ۱۰۲}{۵۵۶/۸} = ۴/۴۷$$

$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ $6SiO_2$

۵۵۶/۸ $(۶ \times ۶۰/۱)$

۲۴/۴۱ x_2

مقدار SiO_2 موجود در ۲۴/۴۱ قسمت فلدسپات پتاسیک

$$\Rightarrow x_2 = \frac{۲۴/۴۱ \times ۳۶۰/۶}{۵۵۶/۸} = ۱۵/۸۰$$

$Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ Na_2O

۵۲۴/۶ ۶۲

y ۳/۱۰

مقدار فلدسپات سدیک موجود در ماده‌ی اولیه $\Rightarrow y = \frac{۳/۱۰ \times ۵۲۴/۶}{۶۲} = ۲۶/۲۳$

$Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	Al_2O_3
۵۲۴/۶	۱۰۲
۲۶/۲۳	y_1

مقدار Al_2O_3 موجود در ۲۶/۲۳ قسمت فلدسپات سدیک

$$\Rightarrow y_1 = \frac{۲۶/۲۳ \times ۱۰۲}{۵۲۴/۶} = ۵/۱$$

$Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	$6SiO_2$
۵۲۴/۶	۳۶۰/۶
۲۶/۲۳	y_2

مقدار SiO_2 موجود در ۲۶/۲۳ قسمت فلدسپات سدیک

$$\Rightarrow y_2 = \frac{۲۶/۲۳ \times ۳۶۰/۶}{۵۲۴/۶} = ۱۸/۰۳$$

مقدار Al_2O_3 باقی‌مانده که باید به کائولین نسبت دهیم. $= ۱۶/۵۴ - (۴/۴۷ + ۵/۱) = ۶/۹۷$

$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	Al_2O_3
۲۵۸/۲	۱۰۲
Z	۶/۹۷

مقدار کائولین موجود در ماده اولیه $\Rightarrow Z = \frac{۶/۹۷ \times ۲۵۸/۲}{۱۰۲} = ۱۷/۶۴$

$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	$2SiO_2$
۲۵۸/۲	۱۲۰/۲
۱۷/۶۴	Z_1

مقدارSiO_2 موجود در ۱۷/۶۴ قسمت کائولین

$$\Rightarrow Z_1 = \frac{۱۷/۶۴ \times ۱۲۰/۲}{۲۵۸/۲} = ۸/۲۱$$

(مجموع SiO_2 موجود در فلدسپات‌های پتاسیک و سدیک و کائولین) – SiO_2 کل= کوارتز آزاد

$\Rightarrow$ کوارتز $= ۷۱/۴۴ - (۱۵/۸۰ + ۱۸/۰۳ + ۸/۲۱) = ۲۹/۴$

$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	$2H_2O$
۲۵۸/۲	(۲×۱۸)
۱۷/۶۴	Z_2

مقدار آب مولکولی ناشی از کائولین موجود در ماده اولیه

$$\Rightarrow Z_{۲} = \frac{۱۷/۶۴ \times ۳۶}{۲۵۸/۲} = ۲/۴۵$$

مقدار افت حرارتی ناشی از خروج مواد آلی و سایر مواد فرّار

$$\Rightarrow \text{کل افت حرارتی} = ۴/۲۶ - ۲/۴۵ = ۱/۸۱$$

بنابراین، آنالیز مینرالی این ماده اولیه در جدول (۸ــ۵) آمده است.

جدول ۸ــ ۵

نوع کانی (مینرال)	قسمت وزنی
فلدسپات پتاسیک	۲۴/۴۱
فلدسپات سدیک	۲۶/۲۳
کائولین	۱۷/۶۴
کوارتز	۲۹/۴
$Fe_۲O_۳$	۰/۳۱
$TiO_۲$	۰/۱۳
MgO	۰/۰۹
افت حرارتی	۱/۸۱
جمع	۱۰۰/۰۲

تمرین

۱ــ درصد وزنی اکسیدهای آنورتیت (فلدسپات کلسیک) را محاسبه کنید.

۲ــ در صورتی که آنالیز مینرالی دو ماده اولیه A و B مطابق جدول (۹ــ ۵) باشد، درصد اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی این دو ماده اولیه را محاسبه کنید.

جدول ۹ــ۵

مینرال موجود	کائولین	میکای سدیک	فلدسپات پتاسیک	دولومیت	کربنات کلسیم	کوارتز
درصد موجود در ماده اولیه A	۷۰	۱۰	ــ	۱۰	ــ	۱۰
درصد موجود در ماده اولیه B	۶۵	ــ	۱۰	ــ	۵	۲۰

۳ــ آنالیز شیمیایی ماده اولیه‌ای در جدول (۱۰ــ ۵) موجود است، درصد مینرال‌های موجود در این ماده اولیه را محاسبه کنید (مبنا را فلدسپات پتاسیک درنظر بگیرید).

جدول ۱۰ــ ۵

نوع اکسید	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	MgO	CaO	$(K_2O + Na_2O)$	L.O.I
درصد وزنی	۶۸/۳۰	۱۹/۶۰	۲/۰۰	۱/۳۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۱/۱	۷/۳

۴ــ آنالیز شیمیایی خاکی در جدول (۱۱ــ ۵) موجود است، درصد کائولین، ارتوکلاز، آلبیت و کوارتز موجود در این خاک را محاسبه کنید.

جدول ۱۱ــ ۵

نوع اکسید	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	L.O.I
درصد وزنی	۷۲/۰۷	۰/۱۰	۱۶	۰/۱۵	۰/۱۷	۱/۸۶	۳/۹۶	۳/۲۹	۲/۴

فصل ششم

محاسبه آمیز بدنه براساس آنالیز مینرالی مواد اولیه

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ آنالیز مینرالی برخی از بدنه‌های سرامیکی را بیان کند.

۲ــ با داشتن آنالیز مینرالی مواد اولیه و بدنه، درصد مواد اولیه مورد نیاز برای ساخت بدنه را محاسبه کند.

۳ــ با مشخص‌بودن آمیز بدنه، آنالیز مینرالی آن را محاسبه کند.

مقدمه

در فصل پنجم با آنالیز مینرالی و نحوه‌ی محاسبه‌ی آنالیز مینرالی برخی مواد اولیه با استفاده از آنالیز شیمیایی آن‌ها آشنا شدیم. در این فصل ابتدا به ذکر آنالیز مینرالی تعدادی از بدنه‌های سرامیکی پرداخته و سپس خواهیم آموخت چگونه با داشتن آنالیز مینرالی مواد اولیه و آنالیز مینرالی بدنه، مقدار مواد اولیه‌ی مورد نیاز برای ساخت بدنه محاسبه می‌شود. در جدول (۱ــ۶) آنالیز مینرالی برخی از بدنه‌های سرامیک آمده است.

جدول ۱ــ۶ــ ترکیب مینرالی برخی از بدنه‌های سرامیکی

ردیف	نام بدنه	٪ کائولین	٪ فلدسپات	٪ کوارتز
۱	چینی سخت استاندارد	۵۰	۲۵	۲۵
۲	چینی سفره	۴۷ـ ۵۰	۲۰ـ۲۳	۲۷ـ۳۰
۳	چینی هتل	۵۰ـ ۵۵	۲۲ـ۲۳	۲۲ـ۲۸
۴	چینی پخت و پز	۶۰ـ۷۰	۲۰	۱۰ـ۲۰
۵	چینی نرم استاندارد	۳۵ ـ۴۲	۳۰ـ۳۵	۲۳ـ۳۰
۶	چینی بهداشتی	۴۵	۳۰	۲۵
۷	بدل چینی فلدسپاتی	۴۰ـ ۵۵	۳ـ۱۲	۳۵ ـ۵۵
۸	بدل چینی آهکی	۵۰ـ ۵۵	۱۰ـ ۵ (کلسیم کربنات)	۳۵ ـ۴۵

در ادامه در جدول (۲ــ۶) آنالیز شیمیایی چند مینرال و در جدول (۳ــ۶) آنالیز مینرالی چند ماده اولیه آمده است.

جدول ۲ــ۶ــ آنالیز شیمیایی برخی از مینرال‌ها

اکسید / مینرال	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	CaO	H_2O	CO_2
کائولینیت	۴۶/۵	۳۹/۵	ــ	ــ	۱۴	ــ
ارتوکلاز	۶۴/۸	۱۸/۳	۱۶/۹	ــ	ــ	ــ
کوارتز	۱۰۰	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ
کلسیت	ــ	ــ	ــ	۵۶	ــ	۴۴

جدول ۳ــ۶ــ آنالیز مینرالی برخی از مواد اولیه‌ی داخلی و خارجی

ماده اولیه	کائولین+میکا	فلدسپات	کوارتز	کلسیم‌کربنات	مواد آلی	Fe_2O_3	TiO_2	جمع
کائولین زنوز نشسته	۳۰ + ۱۰	۴/۸	۵۰	۵	ــ	۰/۱	۰/۱	۱۰۰
بال‌کلی ترکیه	۵۹ + ۲۰/۵	ــ	۱۴/۶	۱	۳	۱/۵	۰/۴	۱۰۰
فلدسپات بروجرد	ــ	۸۷/۸	۱۱	۱	ــ	۰/۱	۰/۱	۱۰۰
سیلیس همدان	ــ	ــ	۱۰۰	ــ	ــ	ــ	ــ	۱۰۰
خاک آبعلی	۱۰	۴۸	۴۰	ــ	ــ	۱/۵	۰/۵	۱۰۰

۱ــ۶ــ محاسبه درصد یکی از مواد اولیه خشک لازم برای ساخت بدنه‌ی مورد نظر

با استفاده از داده‌های جدول‌های (۱ــ۶)، (۲ــ۶) و (۳ــ۶) اقدام به محاسبه درصد مواد اولیه برای ساخت یک بدنه‌ی بدل چینی می‌گردد :

مثال ۱: مقدار فلدسپات بروجرد مورد نیاز جهت ساخت بدنه‌ی بدل‌چینی فلدسپاتی را با توجه به آنالیز مینرالی آمده در جدول ۴ــ۶ برحسب درصد پیدا کنید، درصورتی‌که از کائولین زنوز نشسته، بال‌کلی ترکیه، سیلیس همدان و خاک آبعلی به‌ترتیب به میزان ۶۸/۸، ۱۵، ۱۰/۱ و ۲ درصد استفاده شود.

جدول ۴ــ۶ــ آنالیز مینرالی بدنه‌ی بدل چینی فلدسپاتی

کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز
۴۰	۱۲	۴۸

حل:

چون هدف تعیین درصد مواد اولیه است به‌طوری‌که مینرال‌های موردنیاز بدنه را تأمین کند، ابتدا مینرال‌های تشکیل‌دهنده‌ی مواد اولیه به سه مجموعه‌ی مینرالی یعنی کائولین، فلدسپات و کوارتز تبدیل می‌شود. یعنی مینرال‌های دارای خواص مشابه، با یکدیگر جمع می‌شوند (مثلاً نقش فلدسپات، کلسیم‌کربنات و آهن اکسید و تیتانیم‌اکسید در بدنه و در پخت مشابه بوده و به‌عنوان کمک ذوب می‌باشد). بنابراین در محاسبات مجموع درصد این مواد در ستون فلدسپات قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است که چون بال‌کلی ترکیه در آنالیز مینرالی خود دارای مواد آلی است و ما می‌باید مواد آلی را از آنالیز مینرالی حذف کنیم، مجموعه‌ی مینرال‌های این ماده‌ی اولیه را در عدد $\frac{۱۰۰}{۱۰۰-۳}$ ضرب می‌کنیم، بدین ترتیب مجموع مینرال‌های همراه بال‌کلی ترکیه پس از حذف مواد آلی به عدد ۱۰۰ خواهد رسید و ما برای محاسبات خود از این اعداد جدید (که در جدول ۵ــ۶ آمده‌اند) استفاده می‌کنیم. در جدول ۵ــ۶ درصد مصرفی مواد اولیه آمده است و فقط میزان فلدسپات بروجرد مجهول است. با توجه به اینکه از کائولین زنوز نشسته به میزان ۶۸/۸ درصد برای ساخت بدنه‌ی بدل‌چینی استفاده می‌شود، با یک تناسب ساده می‌توان میزان مینرال‌هایی که با این مقدار ماده اولیه وارد آمیز بدنه می‌شوند را حساب کرد. مثلاً در مورد ستون مینرالی کائولین + میکا، با دانستن این نکته که هر ۱۰۰

جدول ۵ــ۶ــ خلاصه شده آنالیز مینرالی مواد اولیه

ماده اولیه	٪	کائولین + میکا	فلدسپات (کمک‌ذوب)	کوارتز
کائولین زنوز نشسته	۶۸/۸	۴۰	۱۰	۵۰
بال‌کلی ترکیه	۱۵	۸۲	۳	۱۵
فلدسپات بروجرد	x	۰	۸۹	۱۱
سیلیس همدان	۱۰	۰	۰	۱۰۰
خاک آبعلی	۲	۱۰	۵۰	۴۰
بدنه‌ی مورد نظر بدل‌چینی فلدسپاتی		۴۰	۱۲	۴۸

قسمت کائولین زنوز نشسته، ۴۰ قسمت کائولین + میکا دارد، می‌توان تناسب زیر را نوشت.

قسمت کائولین + میکا	قسمت کائولین زنوز نشسته
۴۰	۱۰۰
?	۶۸/۸

همانطورکه می‌دانید با طرفین وسطین‌کردن این تناسب، مقدار ؟ به صورت $\frac{۴۰\times۶۸/۸}{۱۰۰}=۲۷/۵۲$ به‌دست خواهد آمد. با نوشتن تناسب‌های مشابه برای دو ستون فلدسپات و کوارتز، مقدار این مینرال‌ها برای ۶۸/۸ درصد کائولین زنوز نشسته به‌ترتیب ۶/۸۸ و ۳۴/۴ به‌دست خواهد آمد. ضمناً برای مسائل این فصل اعداد را تا یک رقم بعد از اعشار گرد کنید که در این صورت اعداد ۲۷/۵، ۶/۹ و ۳۴/۴ را خواهیم داشت. با استفاده از همین روش و نوشتن تناسب‌های مشابه برای سایر مواد اولیه (که البته درصد مصرفی هریک از آن‌ها را) می‌توان مشخص کرد که به‌ازای مقدار مشخصی از هر ماده‌ی اولیه، چه مقدار از مینرال‌ها وارد بدنه خواهند شد. در مورد فلدسپات بروجرد که درصد مصرفی آن مجهول است نیز نحوه‌ی نوشتن تناسب‌ها به همین گونه است یعنی :

قسمت کوارتز	قسمت فلدسپات بروجرد	قسمت فلدسپات	قسمت فلدسپات بروجرد
۱۱	۱۰۰	۸۹	۱۰۰
$?=\frac{۱۱}{۱۰۰}x$	x	$?=\frac{۸۹}{۱۰۰}x$	x

با استفاده از اعداد به‌دست‌آمده، از تناسب‌ها، جدول ۶ــ۶ را رسم می‌کنیم (در تمامی مراحل حل مسأله دقت داشته باشید که برای هریک از مواد اولیه مجموع اعدادی که از تناسب‌ها به‌دست می‌آیند، برابر با درصد مصرفی آن ماده‌ی اولیه در بدنه باشند. مثلاً برای کائولین زنوز نشسته داریم : $۶۸/۸=۳۴/۴+۶/۹+۲۷/۵$)

جدول ۶ــ۶ــ درصد مینرال‌های موجود در درصد مصرفی هر ماده‌ی اولیه

ماده اولیه	درصد مصرفی	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز
کائولین زنوز نشسته	۶۸/۸	۲۷/۵	۶/۹	۳۴/۴
بال کلی ترکیه	۱۵	۱۲/۳	۰/۴۵	۲/۲۵
فلدسپات بروجرد	x	۰	$\frac{۸۹}{۱۰۰}x$	$\frac{۱۱}{۱۰۰}x$
سیلیس همدان	۱۰/۱	۰	۰	۱۰/۱
خاک آبعلی	۲	۰/۲	۱	۰/۸
بدنه مورد نظر (بدل چینی فلدسپاتی)	۱۰۰	۴۰	۱۲	۴۸

برای این‌که بتوان با استفاده از مواد اولیه‌ی فوق، با درصدهای معلوم، بدنه‌ی بدل‌چینی فلدسپاتی ساخت، می‌بایست مجموع هریک از ستون‌های مینرالی جدول ۶ــ۶ برابر با آنالیز مینرالی بدنه‌ی بدل‌چینی شود. مثلاً در مورد ستون کائولین + میکا باید جمع اعداد آمده در ستون برابر ۴۰ و در مورد ستون فلدسپات و کوارتز به ترتیب برابر ۱۲ و ۴۸ شود، بنابراین

تساوی صحیح $۲۷/۵+۱۲/۳+۰/۲=۴۰$

معادله‌ی ۱ $۶/۸۸+۰/۴۵+\frac{۸۹}{۱۰۰}x+۱=۱۲$

معادله‌ی ۲ $۳۴/۴+۲/۲۵+\frac{۱۱}{۱۰۰}x+۱۰/۱+۰/۸=۴۸$

همین‌طورکه مشاهده می‌کنید از جمع کردن ستون‌ها به یک تساوی صحیح و دو معادله با یک مجهول (x) رسیدیم. از نظر ریاضی درصورتی که دو معادله با یک مجهول، دارای جواب باشد باید جواب به‌دست‌آمده از یکی از معادلات در معادله‌ی دیگری هم صدق کند، یعنی اگر x را با استفاده ازمعادله‌ی ۱ پیدا کردیم، اگر جواب حاصل را به جای x در معادله‌ی ۲ بگذاریم، باید تساوی صحیح به‌دست بیاید. ابتدا معادله‌ی ۱ را حل می‌کنیم :

$$۶/۸۸+۰/۴۵+\frac{۸۹}{۱۰۰}x+۱=۱۲$$

$$\frac{۸۹}{۱۰۰}x=۱۲-۶/۸۸-۰/۴۵-۱$$

$$\frac{۸۹}{۱۰۰}x=۳/۶۷$$

$$\boxed{x=۴/۱}$$

حال باید جواب به‌دست آمده برای x را در معادله‌ی ② امتحان کنیم به جای x عدد ۴/۱ را قرار می‌دهیم.

$$۳۴/۴+۲/۲۵+\frac{۱۱}{۱۰۰}\times۴/۱+۱۰/۱+۰/۸\overset{?}{=}۴۸$$

$$۴۸=۴۸$$

همان‌طورکه مشاهده می‌کنیم به یک تساوی درست رسیدیم پس جواب ۴/۱ برای معادلات ۱ و ۲ قابل قبول است. از طرف دیگر باید جمع درصدهای مصرفی مواد اولیه نیز ۱۰۰ شود، پس این مسأله را با قراردادن عدد ۴/۱ به جای درصد مصرفی فلدسپات بروجرد و جمع‌زدن درصدهای مصرفی جدول (۶ــ۶) امتحان می‌کنیم.

$$۶۸/۸+۱۵+۴/۱+۱۰/۱+۲\overset{?}{=}۱۰۰$$

$$۱۰۰=۱۰۰$$

بدین ترتیب درست‌بودن عدد به‌دست آمده کاملاً تأیید می‌شود.

لازم به ذکر است اگر به جای فلدسپات بروجرد که میزان مینرال‌های کائولین + میکا در آن صفر در نظر گرفته شده، یکی از مواد اولیه‌ی کائولین زنوز نشسته یا بال‌کلی ترکیه مجهول بودند، به جای دو معادله و یک مجهول، به‌سه معادله و یک مجهول می‌رسیدیم. در آن‌صورت از نظر ریاضی می‌بایست جواب به‌دست‌آمده از یکی از معادلات را در دو معادله‌ی دیگر امتحان می‌کردیم و اگر جواب هردو معادله‌ی دیگر را تبدیل به تساوی درست می‌کرد (همانند چیزی‌که برای معادله‌ی ② اتفاق افتاد) جواب قابل قبول و در غیر این صورت جواب غیرقابل قبول خواهد بود.

در انتها مجدداً جدول (۶ــ۶) را به همراه اعداد به‌دست‌آمده رسم کرده و حاصل جمع ستون‌های فلدسپات و کوارتز را کنترل می‌نماییم. همان‌طورکه می‌بینید جمع اعداد حاصل، تقریباً برابر آنالیز مینرالی بدنه‌ی بدل‌چینی فلدسپاتی شده و بنابراین اعداد به‌دست‌آمده برای درصد مصرفی مواد اولیه قابل قبول است.

ماده اولیه	درصد مصرفی	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز
کائولین زنوز نشسته	۶۸/۸	۲۷/۵	۶/۹	۳۴/۴
بال‌کلی ترکیه	۱۵	۱۲/۳	۰/۴۵	۲/۲۵
فلدسپات بروجرد	۴/۱	۰	$\frac{۸۹}{۱۰۰}\times ۴/۱$ $=۳/۶$	$\frac{۱۱}{۱۰۰}\times ۴/۱$ $=۰/۴۵$
سیلیس همدان	۱۰/۱	۰	۰	۱۰/۱
خاک آبعلی	۲	۰/۲	۱	۰/۸
جمع ستون‌ها	۱۰۰	۴۰	۱۱/۹۵	۴۸
بدنه مورد نظر (بدل چینی فلدسپاتی)		۴۰	۱۲	۴۸

۲ــ۶ــ محاسبه آنالیز مینرالی بدنه با آمیز مشخص

با توجه به آمیز که درصد مواد اولیه مورد استفاده در بدنه را نشان می‌دهد و مشخص‌بودن آنالیز مینرالی مواد اولیه، امکان محاسبه آنالیز مینرالی بدنه فراهم است، به مثال زیر توجه کنید.

مثال۲: آنالیز مینرالی بدنه‌ای را با کمک آنالیز مینرالی، مواد اولیه جدول (۷ــ۶) محاسبه نمایید.

جدول ۷ــ۶ــ آنالیز مینرالی مواد اولیه

	مینرال‌ها			
ماده اولیه	درصد مصرفی در بدنه	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز
کائولین زدلیتز	۶۳	۹۵	۲	۳
زنوز نشسته	۲۲	۴۰	۱۰	۵۰
فلدسپات بروجرد	۱۴	۰	۸۹	۱۱
سیلیس همدان	۱	۰	۰	۱۰۰

حل:

با ضرب کردن درصد هر ماده اولیه در مینرال‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن به تفکیک مقدار هر مینرال وارد شده توسط آن ماده‌ی اولیه به بدنه مشخص می‌شود. در جدول (۸ــ۶) مقادیر مینرال‌های وارد شده توسط مواد اولیه به بدنه مشخص شده است. با جمع زدن مقادیر مینرال‌های هر ستون، آنالیز مینرالی بدنه به دست می‌آید.

جدول ۸ ــ۶ــ تعیین مقادیر مینرال‌های وارد شده به بدنه با معلوم بودن درصد مواد اولیه

ماده اولیه	درصد مصرفی	کائولین + میکا K+M	فلدسپات (F)	کوارتز (Q)	جمع
کائولین زدلیتز	۶۳	$۹۵\times\frac{۶۳}{۱۰۰}=۵۹/۹$	$۲\times\frac{۶۳}{۱۰۰}=۱/۲$	$۳\times\frac{۶۳}{۱۰۰}=۱/۹$	۶۳
زنوز نشسته	۲۲	$۴۰\times\frac{۲۲}{۱۰۰}=۸/۸$	$۱۰\times\frac{۲۲}{۱۰۰}=۲/۲$	$۵۰\times\frac{۲۲}{۱۰۰}=۱۱$	۲۲
فلدسپات بروجرد	۱۴	۰	$۸۹\times\frac{۱۴}{۱۰۰}=۱۲/۵$	$۱۱\times\frac{۱۴}{۱۰۰}=۱/۵$	۱۴
سیلیس همدان	۱	۰	۰	$۱۰۰\times\frac{۱}{۱۰۰}=۱$	۱
جمع(آنالیز مینرالی بدنه)	۱۰۰	۶۸/۷	۱۵/۹	۱۵/۴	۱۰۰

برای یادآوری

مروری بر حل معادلات: «سه معادله و سه مجهول»

با توجه به این‌که برای ساخت بدنه‌ای با آنالیز مینرالی معلوم و سه ماده اولیه با آنالیز مینرالی مشخص نیاز به حل دستگاه معادلات سه معادله و سه مجهول می‌باشد، مروری بر نحوه‌ی حل این‌گونه معادلات می‌شود. به مثال زیر توجه کنید :

مثال ۳: در دستگاه سه معادله زیر مجهول‌های x و y و z را بیابید.

$$\begin{cases} -3x+2y-z=0 & (1) \\ -2x+7y+3z=14 & (2) \\ x+3y-2z=7 & (3) \end{cases}$$

حل: برای یافتن مقادیر x، y و z ابتدا باید یکی از مجهول‌ها را براساس دو مجهول دیگر نوشته و با جای‌گذاری در دو معادله‌ی دیگر، دستگاه را به دو معادله و دو مجهول تبدیل کنیم. برای این کار از معادله‌ی (۱) استفاده کرده و z را برحسب x و y می‌یابیم :

$$z = 3x+2y$$

این مقدار z را در معادلات (۲) و (۳) توسط معادلش برحسب x و y جایگزین می‌نماییم.

$$\begin{matrix} -2x+7y+3(-3x+2y)=14 \\ x+3y-2(-3x+2y)=7 \end{matrix} \Rightarrow \begin{cases} 13y-11x=14 & (4) \\ 7x-y=7 & (5) \end{cases}$$

حال با حل دستگاه دو معادله و دو مجهول (۴) و (۵)، مقادیر x و y را می‌یابیم. برای حل دستگاه می‌توان دو طرف معادله (۵) را در عدد ۱۳ (ضریب y در معادله ی (۴)) ضرب کرد تا معادله‌ی (۶) حاصل شود. سپس با جمع معادلات (۴) و (۶) و با توجه به قرینه بودن ضرایب y حذف خواهد شد و مجهول x بدست خواهد آمد.

$$\begin{cases} 13y-11x=14 \\ 13\times 7x-13y=13\times 7 \end{cases} \Rightarrow 80x=105 \;،\; x=\frac{105}{80}=\frac{21}{16}$$

حال کافی است مقدار x را در یکی از معادلات (۴) یا (۵) قرار داده و y را بیابیم. مثلاً با جای‌گذاری در معادله‌ی (۵) داریم :

$$7x-y=7 \qquad 7\times\frac{21}{16}-y=7$$

$$\frac{147}{16}-7=y \qquad y=\frac{147-112}{16}=\frac{35}{16} \qquad y=\frac{35}{16}$$

با مشخص شدن دو مجهول x و y، کافی است مقادیر آن‌ها را در (۱) جایگزین کنیم.

$$z = 3x + 2y \qquad z = 3\times\frac{21}{16} + 2\times\frac{35}{16} = \frac{-63+70}{16} = \frac{7}{16} \qquad z = \frac{7}{16}$$

۳ــ۶ــ محاسبه درصد مواد اولیه خشک برای ساخت بدنه با آنالیز مینرالی مشخص

درنظر بگیرید برای ساخت نوع خاصی بدنه سرامیکی تعدادی مواد اولیه در اختیار دارید که آنالیز مینرالی بدنه و مواد اولیه مشخص هستند. برای این‌که بدانید چه مقدار از هر ماده اولیه لازم است تا مخلوط آن‌ها آنالیز مینرالی بدنه موردنظر را به شما بدهد، اغلب باید یک دستگاه معادلات چندمجهولی تشکیل داده و آن را حل کنید. برای توضیح بیش‌تر به جدول (۹ــ۶) دقت کنید.

جدول ۹ــ۶ــ آنالیز مینرالی مواد اولیه و بدنه

کد ماده اولیه (معلوم)	درصد ماده اولیه (مجهول)	آنالیز مینرالی (معلوم)			
		K + M	F	Q	جمع
A	a	K_a	F_a	Q_a	۱۰۰
B	b	K_b	F_b	Q_b	۱۰۰
C	c	K_c	F_c	Q_c	۱۰۰
M (بدنه)		K_m	F_m	Q_m	۱۰۰

فرض کنید برای ساخت بدنه M سه ماده اولیه A، B و C را در اختیار داریم. آنالیز مینرالی این سه ماده اولیه و بدنه نیز مشخص است. هدف، یافتن درصد مواد اولیه است که با مخلوط کردن آن‌ها بدنه مورد نظر حاصل شود. چون درصد مواد اولیه مجهول‌ها را تشکیل می‌دهند پس می‌توانیم معادلات زیر را تنظیم نموده و مقادیر مجهول مواد اولیه را a، b و c درنظر بگیریم. به‌عنوان مثال مینرال‌های موجود در a قسمت ماده‌ی اولیه A را می‌توان یافت. مقدار کائولین وارد شده توسط a قسمت ماده اولیه‌ی a :

قسمت ماده اولیه A	قسمت K + M
۱۰۰	K_a
a	$x = \frac{a \times K_a}{100}$

با تناسب‌های مشابه درمی‌یابیم که $\frac{b \times K_b}{۱۰۰}$ کائولین توسط ماده‌ی اولیه B و $\frac{c \times K_c}{۱۰۰}$ کائولین توسط ماده اولیه C به بدنه وارد می‌شود و باید جمع این مقادیر با K_m برابر شود. برای راحتی کار دو طرف معادله در ۱۰۰ ضرب می‌شوند با نوشتن معادلات مشابه برای فلدسپات و کوارتز دستگاه زیر را خواهیم داشت.

$$\begin{cases} a.K_a + b.K_b + c.K_c = K_m \times ۱۰۰ \\ a.F_a + b.F_b + c.F_c = F_m \times ۱۰۰ \\ a.Q_a + b.Q_b + c.Q_c = Q_m \times ۱۰۰ \end{cases}$$

بدیهی است که با حل این معادلات مجهول‌های a، b و c مشخص و درواقع درصد مواد اولیه تعیین می‌شود. برای واضح شدن بهتر سیستم معادلات و روش محاسبه اشاره شده مثالی آورده می‌شود.

مثال ۴: آنالیز مینرالی چینی سخت استاندارد عبارت است از : ٪ ۵۰ :K، ٪ ۲۵ :F و ٪ ۲۵ :Q برای ساخت این بدنه از چهار ماده اولیه کائولین زدلیتز (٪ a) زنوز نشسته (٪ b)، فلدسپات بروجرد (٪ c) و سیلیس همدان (٪ ۱۰) استفاده می‌شود. آنالیز مینرالی مواد اولیه اشاره شده و بدنه موردنظر در جدول (۱۰ــ۶) آورده شده است.

جدول ۱۰ــ۶ــ آنالیز مینرالی مواد اولیه و بدنه چینی سخت

نام ماده اولیه	درصد مصرفی	K	F	Q	Σ
کائولین زدلیتز	a	۹۵	۲	۳	۱۰۰
کائولین زنوز نشسته	b	۴۰	۱۰	۵۰	۱۰۰
فلدسپات بروجرد	c	۰	۸۹	۱۱	۱۰۰
سیلیس همدان	d = ۱۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
بدنه چینی سخت استاندارد		۵۰	۲۵	۲۵	۱۰۰

ابتدا دستگاه معادلات را می‌نویسیم :

$$\begin{cases} ۹۵a + ۴۰b + ۰ \times c + ۰ \times d = ۵۰ \times ۱۰۰ & (۱) \\ ۲a + ۱۰b + ۸۹c + ۰ \times d = ۲۵ \times ۱۰۰ & (۲) \\ ۳a + ۵۰b + ۱۱c + ۱۰۰d = ۲۵ \times ۱۰۰ & (۳) \end{cases}$$

چون در بدنه مشخصاً از ٪ ۱۰ سیلیس همدان استفاده می‌شود پس می‌توانیم به جای d عدد ۱۰ را قرار دهیم در نتیجه خواهیم داشت :

$$۹۵a + ۴۰b = ۵۰۰۰ \qquad (۴)$$

$$۲a + ۱۰b + ۸۹c = ۲۵۰۰ \qquad (۵)$$

$$۳a + ۵۰b + ۱۱c + ۱۰۰ \times ۱۰ = ۲۵۰۰ \rightarrow ۳a + ۵۰b + ۱۱c = ۱۵۰۰ \qquad (۶)$$

اگر از معادله ۱مقدار b را برحسب a یافته در معادلات بعدی (۵ و۶) b را توسط آن جایگزین کنیم دو معادله و دو مجهول حاصل خواهد شد.

$$۹۵a + ۴۰b = ۵۰۰۰ \quad b = \frac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} \qquad (۷)$$

$$\begin{cases} ۲a + ۱۰ \times \dfrac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} + ۸۹c = ۲۵۰۰ & (۸) \\ ۳a + ۵۰ \times \dfrac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} + ۱۱c = ۱۵۰۰ & (۹) \end{cases}$$

$$\begin{cases} ۲a + ۱۲۵۰ - ۲۳/۷۵a + ۸۹c = ۲۵۰۰ \\ ۳a + ۶۲۵۰ - ۱۱۸/۷۵a + ۱۱c = ۱۵۰۰ \end{cases} \quad \begin{matrix} ۱۱ \\ -۸۹ \end{matrix} \quad \begin{cases} -۲۱/۷۵a + ۸۹c = ۱۲۵۰ \\ -۱۱۵/۷۵a + ۱۱c = -۴۷۵۰ \end{cases}$$

$$\begin{cases} -۲۳۹/۲۵a + ۹۷۹c = ۱۳۷۵۰ \\ ۱۰۳۰۱/۷۵a - ۹۷۹c = ۴۲۲۷۵۰ \end{cases} + \Rightarrow ۱۰۰۶۲/۵a = ۴۳۶۵۰۰ \rightarrow \boxed{a = ۴۳/۴٪}$$

$$\frac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} = \boxed{b = ۲۱/۹٪}$$

با قراردادن a و b در معادله‌ی شماره ۲ :

$$\begin{cases} ۲a + ۱۰b + ۸۹c + ۰ \times d = ۲۵۰۰ \\ ۲ \times ۴۳/۴ + ۱۰ \times ۲۱/۹ + ۸۹c = ۲۵۰۰ \\ ۸۹c = ۲۱۹۴/۲ \end{cases}$$

$\boxed{c = ۲۴/۷}$ $\quad d = ۱۰٪$: داریم

$$a + b + c + d = ۴۳/۴ + ۲۱/۹ + ۲۴/۷ + ۱۰ = ۱۰۰$$

حال می‌توانیم جواب‌های حاصل از حل معادلات را برای اطمینان از صحیح بودن آن‌ها مورد بررسی قرار دهیم. برای این کار باید درصد مربوط به هر بدنه را در آنالیز مینرالی آن ضرب کرده و

سپس مینرال‌های یکسان را با هم جمع کنیم. حاصل‌ضرب درصد ماده اولیه در مینرال‌های تشکیل‌دهنده آن مقدار هر مینرال در ماده اولیه را نشان می‌دهد. با جمع اعداد هر ستون در جدول (۱۱ــ۶) مقدار مینرال آن ستون به‌دست می‌آید که باید با مقدار مینرال مورد نیاز بدنه چینی سخت استاندارد هم‌خوانی داشته باشد.

در ردیف پایین جدول (۱۱ــ۶) که جمع ستون مینرال‌ها را نشان می‌دهد، آنالیز مینرالی بدنه چینی سخت که بدنه پیشنهادی برای این مثال بود، حاصل شده است.

جدول۱۱ــ۶ــ محاسبه آنالیز مینرالی بدنه به کمک درصد مصرفی مواد اولیه و آنالیز مینرالی

نام ماده اولیه	درصد مصرفی	درصد مصرفی × آنالیز مینرالی			جمع
کائولین زدلیتز	۴۳/۴	$\frac{۴۳/۴}{۱۰۰}\times ۹۵ = ۴۱/۲$	$\frac{۴۳/۴}{۱۰۰}\times ۲ = ۰/۹$	$\frac{۴۳/۴}{۱۰۰}\times ۳ = ۱/۳$	۱۰۰
کائولین‌زنوزنشسته	۲۱/۹	$\frac{۲۱/۹}{۱۰۰}\times ۴۰ = ۸/۸$	$\frac{۲۱/۹}{۱۰۰}\times ۱۰ = ۲/۲$	$\frac{۲۱/۹}{۱۰۰}\times ۵۰ = ۱۱$	۱۰۰
فلدسپات بروجرد	۲۴/۷	$\frac{۲۴/۷}{۱۰۰}\times ۰ = ۰$	$\frac{۲۴/۷}{۱۰۰}\times ۸۹ = ۲۲$	$\frac{۲۴/۷}{۱۰۰}\times ۱۱ = ۲/۷$	۱۰۰
سیلیس همدان	۱۰	$\frac{۱۰}{۱۰۰}\times ۰ = ۰$	$\frac{۱۰}{۱۰۰}\times ۰ = ۰$	$\frac{۱۰}{۱۰۰}\times ۱۰۰ = ۱۰$	۱۰۰
جمع	۱۰۰	۵۰	۲۵	۲۵	۱۰۰

مثال ۶: در معادلات مثال ۵ به جای ٪ ۱۰ سیلیس همدان ٪ ۲۲ از این ماده اولیه به‌کار گرفته شده و اقدام به محاسبه می‌نماییم.

$$۹۵a + ۴۰b = ۵۰۰۰$$

$$۲a + ۱۰b + ۸۹c = ۲۵۰۰$$

$$۳a + ۵۰b + ۱۱c + ۱۰۰\times ۲۲ = ۲۵۰۰ \qquad ۳a + ۵۰b + ۱۱c = ۳۰۰$$

همان‌طورکه می‌بینید ۳ معادله و ۳ مجهول a، b و c داریم. برای حل، از معادله‌ی ۱ مقدار b را برحسب مجهول a به‌دست آورده و در معادلات شماره ۲ و ۳ به‌جای b جایگزین می‌کنیم.

$$\begin{cases} ۹۵a + ۴۰b = ۵۰۰۰ & \text{معادله‌ی ۱} \quad \Rightarrow b = \frac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} \\ ۲a + ۱۰b + ۸۹c = ۲۵۰۰ & \text{معادله‌ی ۲} \quad ۲a + ۱۰\times\frac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} + ۸۹c = ۲۵۰۰ \\ ۳a + ۵۰b + ۱۱c = ۳۰۰ & \text{معادله‌ی ۳} \quad ۳a + ۵۰\times\frac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} + ۱۱c = ۳۰۰ \end{cases}$$

حال دو معادله و دو مجهول فوق را ساده می‌کنیم و به دستگاه معادلات زیر دست می‌یابیم.

$$\begin{aligned} &۲a+۱۲۵۰-۲۳/۷۵a+۸۹c=۲۵۰۰ \\ &۳a+۶۲۵۰-۱۱۸/۷۵a+۱۱c=۳۰۰ \end{aligned} \Rightarrow \begin{cases} -۲۱/۷۵a+۸۹c=۱۲۵۰ \\ -۱۱۵/۷۵a+۱۱c=-۵۹۵۰ \end{cases}$$

برای حل دستگاه فوق می‌توان با ضرب‌کردن معادله‌ی بالایی در عدد ۱۱ و ضرب‌کردن معادله‌ی پایینی در عدد ۸۹–، ضرایب c را در دو معادله برابر و قرینه‌ی یکدیگر نمود، حال با جمع‌کردن دو معادله، مجهول c حذف می‌شود.

$$\begin{matrix} ۱۱\times \\ -۸۹\times \end{matrix} \begin{cases} -۲۱/۷۵a+۸۹c=۱۲۵۰ \\ -۱۱۵/۷۵a+۱۱c=-۵۹۵۰ \end{cases} \qquad \begin{aligned} &-۲۳۹/۲۵a+۹۷۹c=۱۳۷۵۰ \\ &\underline{+\ ۱۰۳۰۱/۷۵a-۹۷۹c=۵۲۹۵۵۰} \\ &۱۰۰۶۲/۵a=۵۴۳۳۰۰ \Rightarrow \boxed{a=۵۳/۹۹} \end{aligned}$$

$$a \simeq ۵۴$$

از جای‌گذاری a در معادله‌ی ۱ مقدار b به‌دست خواهد آمد.

$$b=\frac{۵۰۰۰-۹۵\times ۵۴}{۴۰}=-۳/۲۵ \qquad \boxed{b=-۳/۲۵}$$

برای پیداکردن مقدار c کافی است مقادیر به‌دست‌آمده برای a و b را در یکی ازمعادلات شماره‌ی②یا شماره‌ی③جایگزین کنیم. در این‌جا مقادیر b و a را در معادله‌ی② قرار می‌دهیم، خواهیم داشت :

$$۲\times ۵۱/۵+۱۰\times -۳/۲۵+۸۹c=۲۵۰۰$$

$$\begin{aligned} &۸۹c=۲۵۰۰-۷۰/۵ \\ &۸۹c=۲۴۲۹/۵ \\ &\boxed{c=۲۷/۳} \end{aligned}$$

$$\boxed{a=۵۴} \qquad \boxed{b=-۳/۲۵} \qquad \boxed{c=۲۷/۳} \qquad \boxed{d=۲۲}$$

ملاحظه می‌شود که با انتخاب مقدار نامناسب سیلیس همدان جواب یکی از مجهول‌ها ($b=-۳/۲۵$) منفی شد. نتیجه می‌شود جواب حاصل برای مجهول‌ها باید همواره مثبت باشد و درصورت منفی شدن جواب یک، دو و ... مجهول امکان ساخت بدنه موردنظر به‌کمک مواد اولیه انتخاب شده وجود ندارد. جواب‌های به‌دست آمده برای a، b، c و d را در جدولی مشابه جدول (۱۱ــ۶) با توجه به آنالیز مینرالی مواد اولیه وارد نموده و بررسی نمایید که آیا حاصل جمع ستون مینرال‌ها همان آنالیز مینرال چینی سخت است یا خیر؟

در مثال بعدی نتیجه انتخاب نادرست مواد اولیه که منجر به جواب غیرمنطقی معادلات می‌شود را مشاهده می‌کنید.

مثال ۶: برای ساخت بدنه چینی پخت و پز از مواد اولیه زنوز نشسته، فلدسپات بروجرد و سیلیس همدان استفاده شده است درصد لازم از هر ماده‌ی اولیه را بیابید.

حل:

جدول آنالیز مینرالی مواد اولیه و بدنه را تشکیل می‌دهیم.

جدول ۱۲ــ۶ــ آنالیز مینرالی مواد اولیه و بدنه چینی پخت و پز

ماده اولیه	درصد	K+M	F	Q	جمع
زنوز نشسته	a	۴۰	۱۰	۵۰	۱۰۰
فلدسپات بروجرد	b	۰	۸۹	۱۱	۱۰۰
سیلیس همدان	c	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
چینی پخت و پز		۶۵	۲۰	۱۵	۱۰۰

همان‌گونه که در مثال‌های قبلی آموخته‌ایم، دستگاه معادلات را تشکیل می‌دهیم.

$$\begin{cases} ۴۰a+۰\times b+۰\times c=۶۵\times ۱۰۰ \\ ۱۰\times a+۸۹\times b+۰\times c=۲۰\times ۱۰۰ \\ ۵۰\times a+۱۱b+۱۰۰c=۱۵\times ۱۰۰ \end{cases} \qquad \Rightarrow ۴۰a=۶۵۰۰$$

$$\boxed{a=\frac{۶۵۰۰}{۴۰}=۱۶۲/۵}$$

$$۱۰\times ۱۶۲/۵+۸۹b=۲۰۰۰\Rightarrow ۸۹b=۳۷۵$$

$$\boxed{b=۴/۲}$$

$$۵۰\times ۱۶۲/۵+۱۱\times ۴/۲+۱۰۰c=۱۵۰۰$$

$$۸۱۲۵+۴۶/۲+۱۰۰c=۱۵۰۰$$

$$\boxed{c=-۶۶/۷}$$

ملاحظه می‌شود که مقدار a عددی بزرگ‌تر از ۱۰۰ و مقدار c منفی شده است که هر دو غیرمنطقی هستند و این موضوع نشان می‌دهد بدنه‌ی چینی پخت و پز با مواد اولیه‌ی انتخابی نمی‌تواند ساخته شود.

۴ــ۶ــ محاسبه‌ی درصد مواد اولیه مرطوب برای ساخت بدنه بدل‌چینی فلدسپاتی

مواد اولیه سرامیکی براساس زمان (فصل) و مکان جغرافیایی دارای رطوبت‌های متفاوتی می‌باشند، که محاسبه و تعیین رطوبت مواد اولیه مهم می‌باشد، اصولاً آنالیزهای مینرالی مطرح برای بدنه‌های مختلف سرامیکی براساس مصرف مواد اولیه‌ی خشک شده در $^{\circ}C$ ۱۰۰ طراحی شده‌اند. حضور آب فیزیکی همراه مواد اولیه و عدم توجه به آن باعث بروز تغییرات در آنالیز مینرالی پس از پخت خواهد شد.

همان‌طورکه می‌دانید جهت ساخت هر بدنه و برای انواع مختلف شکل‌دادن سرامیک‌ها رطوبت‌های متفاوتی نیاز داریم. به‌طور مثال جهت ساخت دوغاب حدود ۵۰ــ۳۵ درصد آب (بدون روانساز) و بین ۲۵ تا ۳۵ درصد آب (همراه با روانساز) نیاز می‌باشد لذا تعیین و مشخص‌نمودن آب همراه یک ماده اولیه می‌تواند تأثیر به‌سزایی روی میزان آب لازم برای ساخت دوغاب داشته باشد و بی‌توجهی به آن می‌تواند علاوه‌بر به‌هم‌ریختن آنالیز مینرالی، رفتار جریانی (رئولوژیکی) دوغاب را تحت‌الشعاع قرار دهد.

مثال ۷: در مثال ۱ با توجه به نتایج جدول(۶ــ۶)، رطوبت بر مبنای خشک زنوز نشسته، رطوبت بر مبنای تر بال‌کلی ترکیه و فلدسپات بروجرد به ترتیب ۷درصد، ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد. مقدار لازم هر ماده‌ی اولیه را با توجه به درصد رطوبت آن‌ها محاسبه نمایید.

$$\text{درصد رطوبت بر مبنای خشک} = \frac{\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}}{\text{وزن خشک}} \times ۱۰۰$$

حل:

برای یافتن درصد رطوبت، همان‌گونه که در آزمایشگاه مواد اولیه با روش اندازه‌گیری آن آشنا شدید، ابتدا وزن تر را اندازه‌گیری می‌کنند. سپس ماده اولیه را در خشک‌کن و در دمای $^{\circ}C$ ۵±۱۰۵ قرار می‌دهند تا زمانی که کم شدن وزن ماده دیگر اتفاق نیفتد و وزن ماده ثابت گردد (معمولاً چندین ساعت با توجه به میزان رطوبت و دانه‌بندی مواد اولیه نیاز به ماندن در خشک‌کن است). ماده اولیه پس از خروج از خشک‌کن و خنک شدن تا دمای محیط دوباره توزین شده و وزن خشک را می‌یابند. با استفاده از فرمول فوق درصد رطوبت بر مبنای خشک محاسبه می‌شود. چون درصد رطوبت بر مبنای خشک کائولین زنوز نشسته۷درصد می‌باشد، این بدان معنی است که مازاد بر ۱۰۰ قسمت زنوز نشسته‌ی خشک، ۷ قسمت آب وجود دارد و مینرال‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن ۱۰۰ قسمت می‌باشد. بنابراین می‌توان مقدار رطوبت همراه با ۶۸/۸ قسمت زنوز نشسته خشک را با یک تناسب پیدا کرد.

قسمت رطوبت بر مبنای خشک	قسمت کائولین زنوز خشک
۷	۱۰۰
x	۶۸/۸

آب همراه با ۶۸/۸ قسمت زنوز نشسته خشک $x = \frac{۷ \times ۶۸/۸}{۱۰۰} = ۴/۸g$

بنابراین مقدار زنوز نشسته‌ی مرطوب برای تأمین ۶۸/۸ قسمت زنوز نشسته خشک $۶۸/۸ + ۴/۸ = ۷۳/۶$ به‌دست می‌آید. با نوشتن تناسب فوق به این نتیجه رسیدیم که برای تأمین ۶۸/۸ درصد زنوز نشسته خشک درواقع ۷۳/۶ درصد زنوز نشسته مرطوب (٪۷ رطوبت بر مبنای خشک) لازم است.

در ادامه محاسبه مقدار رطوبت همراه با ۱۵ قسمت بال‌کلی ترکیه خشک با ٪۵ رطوبت بر مبنای تر انجام می‌شود :

$$\text{درصد رطوبت بر مبنای تر} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن تر}} \times ۱۰۰$$

ماده خشک موجود در ۱۰۰ قسمت بال‌کلی ترکیه مرطوب ٪۹۵ = ۵ − ۱۰۰

قسمت بال‌کلی مرطوب	قسمت ماده خشک
۱۰۰	۹۵
x	۱۵

$x = \frac{۱۵ \times ۱۰۰}{۹۵} = ۱۵/۸g$ قسمت

پس در واقع باید از ۱۵/۸قسمت بال‌کلی ترکیه با رطوبت ٪۵ بر مبنای تر برای تأمین ۱۵قسمت بال‌کلی خشک استفاده کرد.

برای محاسبه‌ی مقدار مرطوب فلدسپات بروجرد، همانند بال‌کلی ترکیه عمل می‌شود.

برای حل مثال‌های فوق راه دیگری نیز وجود دارد با استفاده از فرمول درصد رطوبت بر پایه خشک می‌توانید وزن تر را بدین ترتیب به‌دست آورید :

$$\text{درصد رطوبت بر مبنای خشک} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک}} \times ۱۰۰$$

درصد رطوبت[۱] بر پایه خشک : M_d $\qquad M_d ٪ = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times ۱۰۰$

وزن تر[۲] به گرم : W_w

وزن خشک[۳] به گرم : W_d

۱ــ Moistare

۲ــ حرف «W» از کلمه‌ی «weight» به معنی وزن و «w» از کلمه‌ی «wet» به معنی مرطوب آمده است.

۳ــ حرف «W» از کلمه‌ی «weight» و حرف «d» از «dry» به معنی خشک آمده است.

$$M_d . W_d = (W_w - W_d) \times ۱۰۰ = ۱۰۰W_w - ۱۰۰W_d$$

$$M_d . W_d = ۱۰۰W_w - ۱۰۰W_d \Rightarrow \boxed{W_w = \frac{M_d . W_d + ۱۰۰W_d}{۱۰۰}}$$

با استفاده از فرمول حاصله مثال را حل می‌کنیم :

$$M_d ٪ = ۷ \quad W_d = ۶۸/۸ \quad W_w = ?$$

$$W_w = \frac{۷ \times ۶۸/۸ + ۱۰۰ \times ۶۸/۸}{۱۰۰} = ۷۳/۶g \text{ قسمت}$$

تمرین

۱ــ برای ساخت یک‌صد کیلوگرم بدنه‌ی سرامیکی از سه ماده‌ی اولیه A، B و C استفاده می‌شود. درصد مصرفی این مواد اولیه در بدنه به ترتیب ٪ ۴۳/۲، ٪ ۳۸/۷ و ٪ ۱۸/۱ است. اگر بدانیم درصد رطوبت بر پایه تر ماده‌ی اولیه A، ۸ درصد، ماده‌ی اولیه B، ۴درصد و درصد رطوبت بر پایه خشک ماده اولیه C، ۳ درصد است، مقدار مورد نیاز از هریک از مواد اولیه را تعیین کنید.

۲ــ درصد مواد اولیه برای تهیه یک بدنه‌ی کاشی دیواری در جدول زیر آمده است. آنالیز مینرالی و نوع این بدنه‌ی سرامیکی را مشخص کنید.

جدول ۱۳ــ۶

ماده اولیه	درصد مصرفی	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز
زنوز نشسته	۵۰	۴۰	۱۰	۵۰
بال‌کلی ترکیه	۴۰	۸۲	۳	۱۵
فلدسپات بروجرد	۱/۵	۰	۸۹	۱۱
سیلیس همدان	۳/۵	۰	۰	۱۰۰
خاک آبعلی	۵	۱۰	۵۰	۴۰
بدنه M	۱۰۰	؟	؟	؟

۳ــ با داشتن فرمول درصد رطوبت بر مبنای تر :

الف ــ فرمول مربوط به وزن تر را از این فرمول استخراج کنید.

ب ــ مقدار بال‌کلی مرطوب ترکیه و فلدسپات بروجرد مرطوب (جدول ۱۳ــ۶) را با استفاده از فرمولی که یافته‌اید، با درنظر گرفتن درصد رطوبت بر مبنای تر ٪۵ برای هر دو ماده اولیه بیابید.

۴ــ آنالیز مینرالی مواد اولیه A، B و C در جدول (۱۴ــ۶) آمده است. آنالیز مینرالی خلاصه‌شده‌ی مواد اولیه را مشخص نمایید (ستون‌ها با توجه به خواص مشابه مینرال‌ها به سه ستون K + M ، F و Q خلاصه شود).

جدول ۱۴ــ۶

ماده اولیه	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز	کلسیم‌کربنات	مواد آلی	Fe_2O_3	TiO_2	جمع
A	۵ +۲۸	۱۲	۴۰	۴	۹	۱	۱	۱۰۰
B	ــ	۸۳	۱۵	۱/۷	ــ	۰/۱	۰/۲	۱۰۰
C	۱۴	۴۵	۳۵/۵	۲	ــ	۱/۵	۲	۱۰۰

۵ ــ با محاسبه نشان دهید که آیا می‌توان برای ساخت بدنه چینی سفره با آنالیز مینرالی K + M = ۴۷ ، F = ۲۳ و Q = ۳۰ از سه ماده اولیه زنوز نشسته، فلدسپات بروجرد و خاک آبعلی مطابق آنالیز آمده در جدول استفاده کرد یا خیر؟

جدول ۱۵ــ۶

ماده اولیه	درصد مصرفی	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز
زنوز نشسته	؟	۴۰	۱۰	۵۰
فلدسپات بروجرد	؟	۰	۸۹	۱۱
خاک آبعلی	؟	۱۰	۵۰	۴۰
بدنه چینی سفره		۴۷	۲۳	۳۰

۶ــ درصد وزنی آمیز بدنه‌ی ارتن‌وری به صورت جدول (۱۶ــ۶) است. درصورتی که در توزین بال‌کلی شماره (۱) و بال‌کلی شماره (۲) جابجا شود، چه تغییری در آنالیز مینرالی بدنه حاصل می‌شود. تغییرات ایجاد شده در آنالیز مینرالی را محاسبه کنید. آنالیز مینرالی بال‌کلی شماره (۱) و (۲)، فلینت و فلدسپات در جدول (۱۷ــ۶) آمده است.

جدول ۱۶ــ۶

نوع خاک	بال کلی شماره (۱)	بال کلی شماره(۲)	کوارتز (فلینت)	فلدسپات
درصد وزنی	۳۰	۳۰	۳۵	۵

جدول ۱۷ــ۶

نوع مواد اولیه	(٪) کائولین	(٪) فلدسپات	(٪) کوارتز
بال کلی شماره (۱)	۷۶/۳	۱۰/۸	۱۲/۹
بال کلی شماره (۲)	۷۲/۰	۱۲/۱	۱۵/۹
فلدسپات	۱۴/۰	۶۷/۲	۱۸/۸
فلینت	۰	۲	۹۸

۷ــ با استفاده از جدول ۱۷ــ۶ درصد مواد اولیه مورد نیاز را برای ساخت بدنه چینی بهداشتی با آنالیز مینرالی $K+M=45\%$ ، $F=30\%$ و $Q=25\%$ مشخص نمایید. (بدون استفاده از سیلیس همدان)

فصل هفتم

محاسبه فرمول زگر لعاب

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ با استفاده از فرمول زگر، درصد اکسیدهای موجود در لعاب را محاسبه کند.

۲ــ فرمول زگر را با استفاده از درصد اکسیدهای موجود در آمیز محاسبه کند.

مقدمه

برای نشان دادن آمیز لعاب، روش‌های مختلفی وجود دارد. متداول‌ترین این روش‌ها عبارتند از :

الف ــ برحسب درصد وزنی مواد اولیه لعاب

ب ــ برحسب درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن

ج ــ برحسب نسبت‌های مولی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن (فرمول‌زگر)

۱ــ۷ــ آمیز لعاب برحسب مواد اولیه تشکیل‌دهنده‌ی آن

در این روش صرفاً با ذکر نام مواد مصرفی و نسبت‌های به کار رفته، آمیز لعاب را معرفی می‌کنیم. مثلاً می‌گوییم آمیز یک لعاب چینی بهداشتی عبارتست از :

نوع ماده	مقدار (٪)
فلدسپات سدیک	۲۷/۰
کوارتز	۲۶/۴
کلسیم کربنات	۱۹/۰
کائولین	۱۰/۴
روی اکسید	۲/۲
زیرکونیم سیلیکات	۱۲/۰
رنگ زرد	۳/۰

بدیهی است که در چنین حالتی، نام تجارتی ماده اولیه نیز باید ذکر شود (مثلاً نوشته شود فلدسپات‌سدیم زنجان، کوارتز همدان،کلسیم کربنات ازنا و ...) زیرا همان‌طورکه می‌دانید هر یک از مواد اولیه مذکور از آنالیز شیمیایی خاص خود برخوردار است.

۲ــ۷ــ آمیز لعاب برحسب درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن

در این روش آمیز لعاب به صورت درصد وزنی اکسیدهای موجود در آن معرفی می‌شود. مثلاً می‌گوییم آمیز یک لعاب بور و سیلیکاتی عبارتست از :

اکسید	مقدار (درصد وزنی)
SiO_2	۵۰/۱۹
Al_2O_3	۱۴/۳۶
CaO	۶/۳۹
MgO	۰/۳۹
Na_2O	۱۰/۲۰
B_2O_3	۱۸/۴۷

۳ــ۷ــ آمیز لعاب به صورت فرمول زگر

پیش از پرداختن به این روش ذکر این نکته ضروری است که به کاربردن لفظ فرمول مولی در این‌جا قراردادی است و ارائه یا ذکر چنین فرمول‌هایی به معنی وجود چنین گروه‌ها و آرایش‌های مولکولی در طبیعت نیست. با استفاده از فرمول‌های مولی **(فرمول زگر)** لعاب، مبنای مناسبی برای مقایسه خواص و رفتار لعاب‌های مختلف به وجود می‌آوریم. در این روش، فرض می‌کنیم که بعضی از مواد مورد استفاده خالص هستند و در نتیجه مبنای محاسبات خود را بر پایه فرمول تئوری آن‌ها استوار خواهیم کرد.

با توجه به آن‌چه گفته شد،اکنون روش محاسبه فرمول مولی (زگر) لعاب را توضیح می‌دهیم. برای انجام این کار سه مرحله را باید طی کرد. این سه مرحله عبارتند از :

۱ــ با تقسیم درصد وزنی هر اکسید به وزن مولکولی آن، نسبت مولی لعاب را به‌دست می‌آوریم.

۲ــ مجموع مولی اکسیدهای بازی (۱ و ۲ ظرفیتی) را به دست می‌آوریم.

۳ــ هر یک از مقادیر محاسبه شده در مرحله اول را به مجموع مولی اکسیدهای بازی

تقسیم می‌کنیم. در نتیجه مجموع مولی این اکسیدها برابر با ۱ خواهد شد.

مثال ۱ : درصد وزنی اکسیدهای تشکیل دهنده‌ی لعابی[1] در جدول (۱ــ۷) نشان داده شده است. فرمول زگر آن را محاسبه کنید.

جدول ۱ــ۷ــ درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده نوعی لعاب

نوع اکسید	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	B_2O_3
درصد وزنی	۵۰/۲۰	۱۴/۳۶	۶/۴۰	۰/۴۰	۱۰/۲۰	۱۸/۵۰

حل:

الف ــ همان‌طورکه گفته شد، ابتدا درصد وزنی هر یک از اجزای لعاب را به وزن مولکولی آن تقسیم می‌کنیم.

$SiO_2 : ۵۰/۲۰ \div ۶۰/۱ = ۰/۸۳۵$

$Al_2O_3 : ۱۴/۳۶ \div ۱۰۲ = ۰/۱۴۰$

$CaO : ۶/۴۰ \div ۵۶/۱ = ۰/۱۱۴$

$MgO : ۰/۴۰ \div ۴۰/۳ = ۰/۰۰۹۹ \simeq ۰/۰۱$

$Na_2O : ۱۰/۲۰ \div ۶۲ = ۰/۱۶۴$

$B_2O_3 : ۱۸/۵۰ \div ۶۹/۶ = ۰/۲۶۵$

ب ــ مجموع مولی اکسیدهای بازی را به دست می‌آوریم و سپس هر یک از مقادیر به دست آمده در قسمت (الف) را به این مجموع تقسیم می‌کنیم. با این عمل مجموع اکسیدهای بازی برابر با ۱ خواهد شد.

$CaO + MgO + Na_2O = ۰/۱۱۴ + ۰/۰۱۰ + ۰/۱۶۴ = ۰/۲۸۸$

$SiO_2 : ۰/۸۳۵ \div ۰/۲۸۸ = ۲/۸۹۹$

$Al_2O_3 : ۰/۱۴۰ \div ۰/۲۸۸ = ۰/۴۸۶$

$CaO : ۰/۱۱۴ \div ۰/۲۸۸ = ۰/۳۹۵$

$MgO : ۰/۰۱۰ \div ۰/۲۸۸ = ۰/۰۳۴۷$

۱ــ این لعاب به دلیل داشتن بوراکسید که ترکیبات معدنی آن محلول در آب هستند، باید به صورت فریت مورد استفاده قرار گیرد.

$Na_2O : ۰/۱۶۴ \div ۰/۲۸۸ = ۰/۵۶۹$

$B_2O_3 : ۰/۲۶۵ \div ۰/۲۸۸ = ۰/۹۲۰$

ج ــ حال اعداد به دست آمده را به صورت (ز ــ ۱)[۱] می‌نویسیم :

$$\begin{cases} CaO \quad ۰/۳۹۵ \\ MgO \quad ۰/۰۳۵ \\ Na_2O \quad \dfrac{۰/۵۶۹}{۰/۹۹۹ \simeq ۱} \end{cases} \qquad Al_2O_3 \quad ۰/۴۸۶ \qquad \begin{cases} SiO_2 \quad ۲/۸۹۹ \\ B_2O_3 \quad ۰/۹۲۰ \end{cases} \qquad (ز - ۱)$$

همان‌طورکه مشاهده می‌کنید با انجام این عملیات، مجموع مولی ستون اول (اکسیدهای بازی) برابر با ۱ می‌شود. پیشنهادهای مختلفی برای چیدن اکسیدهای متفاوت وجود دارد مثلاً عده‌ای عقیده دارند که باید اکسیدهای بازی در ستون اول، آلومینیوم اکسید در ستون دوم و اکسیدهای اسیدی در ستون سوم قرار گیرند. بوراکسید به علت خواص اسیدی زیر سیلیس قرار می‌گیرد. در حالی که برخی دیگر عقیده دارند که بوراکسید را به خاطر شباهت ظرفیتی و برخی اثرات ویژه‌ی دیگر باید در ستون دوم (یعنی زیر آلومینیوم اکسید) قرار داد. در این کتاب نحوه‌ی چیده شدن اکسیدها براساس نظریه اول است.

مثال ۲: یک بچ لعاب از ۳۴۳/۴ قسمت وزنی سرب بی‌سیلیکات ($PbO.۲SiO_2$) ، ۵۱/۶ قسمت وزنی کائولین و ۳۰/۰ قسمت وزنی سیلیس تشکیل شده است. فرمول زگر این لعاب را محاسبه کنید.

حل:

برای محاسبه فرمول زگر این لعاب، ابتدا باید درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن را به‌دست آورد.

مقدار SiO_2 موجود در ۳۴۳/۴ قسمت سرب بی‌سیلیکات

$PbO.۲SiO_2$	$۲SiO_2$
۳۴۳/۴	۱۲۰/۲
۳۴۳/۴	x_1

$$\Rightarrow x_1 = \frac{۳۴۳/۴ \times ۱۲۰/۲}{۳۴۳/۴} = ۱۲۰/۲$$

۱ــ منظور از (ز ــ ۱) فرمول زگر شماره ۱ است.

مقدار PbO موجود در ۳۴۳/۴ قسمت وزنی سرب بی‌سیلیکات

$PbO.2SiO_2$ PbO

۳۴۳/۴ ۲۲۳/۲

۳۴۳/۴ y_1

$$\Rightarrow y_1 = \frac{۳۴۳/۴ \times ۲۲۳/۲}{۳۴۳/۴} = ۲۲۳/۲$$

مقدار SiO_2 موجود در ۵۱/۶ قسمت وزنی کائولین

$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ $2SiO_2$

۲۵۸/۲ ۱۲۰/۲

۵۱/۶ x_2

$$\Rightarrow x_2 = \frac{۵۱/۶ \times ۱۲۰/۲}{۲۵۸/۲} = ۲۴/۰۲$$

مقدار Al_2O_3 موجود در ۵۱/۶ قسمت وزنی کائولین

$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ Al_2O_3

۲۵۸/۲ ۱۰۲

۵۱/۶ y_2

$$\Rightarrow y_2 = \frac{۵۱/۶ \times ۱۰۲}{۲۵۸/۲} = ۲۰/۳۸$$

مقدار SiO_2 موجود در ۳۰/۰ قسمت وزنی سیلیس

SiO_2 (سیلیس) SiO_2

۶۰/۱ ۶۰/۱

۳۰/۰ x_3

$$\Rightarrow x_3 = \frac{۳۰/۰ \times ۶۰/۱}{۶۰/۱} = ۳۰/۰$$

حال مجموع هریک از اکسیدهای موجود را به دست می‌آوریم.

$SiO_2 : ۱۲۰/۲ + ۲۴/۰۲ + ۳۰/۰ = ۱۷۴/۲۲$

$Al_2O_3 : ۲۰/۳۸$

$PbO : ۲۲۳/۲$

برای یافتن درصد هر یک از اکسیدها ابتدا مقادیر به‌دست آمده برای اکسیدها را با هم جمع کرده و سپس مقدار هر اکسید را به مجموع به‌دست آمده تقسیم می‌کنیم.

$۱۷۴/۲۲ + ۲۰/۳۸ + ۲۲۳/۲ = ۴۱۷/۸$

$SiO_۲ = ۴۱/۶۹٪$

$Al_۲O_۳ = ۴/۸۷٪$

$PbO = ۵۳/۴۲٪$

در این قسمت با توجه به آن‌چه تاکنون گفته شده است، فرمول زگر لعاب را محاسبه می‌کنیم.

$SiO_۲ : ۴۱/۶۹ \div ۶۰/۱ = ۰/۶۹۳$

$Al_۲O_۳ : ۴/۸۷ \div ۱۰۲ = ۰/۰۴۷$

$PbO : ۵۳/۴۲ \div ۲۲۳/۲ = ۰/۲۳۹$

اکنون با توجه به این‌که تنها اکسید بازی موجود در این لعاب PbO است،هر یک از مقادیر به‌دست آمده در قسمت قبل را به ۰/۲۳۹ تقسیم می‌کنیم، تا مجموع مولی اکسید بازی در فرمول به واحد تبدیل شود.

$SiO_۲ : ۰/۶۹۳ \div ۰/۲۳۹ = ۲/۸۹۹$

$Al_۲O_۳ : ۰/۰۴۷ \div ۰/۲۳۹ = ۰/۱۹۶$

$PbO : ۰/۲۳۹ \div ۰/۲۳۹ = ۱/۰۰۰$

پس فرمول زگر این لعاب به صورت فرمول (ز ــ۲) می‌شود :

(ز ــ۲) $PbO\ ۱/۰۰۰ \quad Al_۲O_۳\ ۰/۱۹۶ \quad SiO_۲\ ۲/۸۹۹$

مثال ۳: بچ لعابی از ۲۱/۶۳ قسمت وزنی فلدسپات پتاسیک، ۲۳/۴۵ قسمت وزنی کائولین، ۵۳/۰۸ قسمت وزنی کوارتز و ۹/۱۰ قسمت وزنی کلسیم کربنات تشکیل شده است. فرمول زگر این لعاب را محاسبه کنید.

حل: همانند مثال قبل باید ابتدا درصد اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی این لعاب را محاسبه کنیم.

مقدار $SiO_۲$ موجود در ۲۱/۶۳ قسمت وزنی فلدسپات پتاسیک :

$K_۲O \cdot Al_۲O_۳ \cdot ۶SiO_۲ \qquad ۶SiO_۲$

$۵۵۶/۸ \qquad ۳۶۰/۶$

$۲۱/۶۳ \qquad x_۱$

$$\Rightarrow x_۱ = \frac{۲۱/۶۳ \times ۳۶۰/۶}{۵۵۶/۸} = ۱۴/۰۰$$

مقدار Al_2O_3 موجود در ۲۱/۶۳ قسمت وزنی فلدسپات پتاسیک :

$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ $\quad$ Al_2O_3

۵۵۶/۸ $\quad$ ۱۰۲

۲۱/۶۳ $\quad$ y_1

$$\Rightarrow y_1 = \frac{۲۱/۶۳ \times ۱۰۲}{۵۵۶/۸} = ۳/۹۶$$

مقدار K_2O موجود در ۲۱/۶۳ قسمت وزنی فلدسپات پتاسیک :

$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ $\quad$ K_2O

۵۵۶/۸ $\quad$ ۹۴/۲

۲۱/۶۳ $\quad$ z_1

$$\Rightarrow z_1 = \frac{۲۱/۶۳ \times ۹۴/۲}{۵۵۶/۸} = ۳/۶۶$$

مقدار SiO_2 موجود در ۲۳/۴۵ قسمت وزنی کائولین :

$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ $\quad$ $2SiO_2$

۲۵۸/۲ $\quad$ ۱۲۰/۲

۲۳/۴۵ $\quad$ x_2

$$\Rightarrow x_2 = \frac{۲۳/۴۵ \times ۱۲۰/۲}{۲۵۸/۲} = ۱۰/۹۱$$

مقدار Al_2O_3 موجود در ۲۳/۴۵ قسمت وزنی کائولین :

$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ $\quad$ Al_2O_3

۲۵۸/۲ $\quad$ ۱۰۲

۲۳/۴۵ $\quad$ y_2

$$\Rightarrow y_2 = \frac{۲۳/۴۵ \times ۱۰۲}{۲۵۸/۲} = ۹/۲۶$$

$CaCO_3$ $\quad$ CaO

۱۰۰/۱ $\quad$ ۵۶/۱

۹/۱۰ $\quad$ x_3

مقدار CaO موجود در ۹/۱ قسمت وزنی کلسیم کربنات :

$$\Rightarrow x_3 = \frac{۹/۱۰ \times ۵۶/۱}{۱۰۰/۱} = ۵/۱۰$$

حال مجموع هر یک از اکسیدها را به دست می‌آوریم.
(مقدار ۵۳/۰۸ مربوط به کوارتز می‌باشد)

$SiO_2 : ۱۴+۱۰/۹۱+۵۳/۰۸+۰=۷۷/۹۹ \simeq ۷۸$

$Al_2O_3 : ۳/۹۶+۹/۲۶+۰+۰=۱۳/۲۲$

$K_2O : ۳/۶۶+۰+۰+۰=۳/۶۶$

مقدار CaO موجود در ۹/۱ قسمت وزنی کلسیم کربنات :

$CaO : ۰+۰+۰+۵/۱۰=۵/۱۰$

اکنون برای به دست آوردن فرمول زگر، مقدار هر اکسید را به وزن مولکولی آن تقسیم می‌کنیم.

$SiO_2 : ۷۸ \div ۶۰/۱=۱/۲۹۷$

$Al_2O_3 : ۱۳/۲۲ \div ۱۰۲=۰/۱۲۹$

$K_2O : ۳/۶۶ \div ۹۴/۲=۰/۰۳۸۸ \simeq ۰/۰۳۹$

$CaO : ۵/۱۰ \div ۵۶/۱=۰/۰۹۰۹ \simeq ۰/۰۹۱$

اکنون مجموع اکسیدهای بازی را به دست می‌آوریم و سپس هر یک از اعداد به دست آمده در قسمت قبل را بر آن تقسیم می‌کنیم.

$K_2O + CaO = ۰/۰۳۹+۰/۰۹۱=۰/۱۳۰$

$SiO_2 : ۱/۲۹۷ \div ۰/۱۳۰=۹/۹۷۷$

$Al_2O_3 : ۰/۱۲۹ \div ۰/۱۳۰=۰/۹۹۲$

$K_2O : ۰/۰۳۹ \div ۰/۱۳۰=۰/۳۰۰$

$CaO : ۰/۰۹۱ \div ۰/۱۳۰=۰/۷۰۰$

پس فرمول زگر این لعاب عبارتست از :

$$\begin{cases} K_2O & ۰/۳۰۰ \\ CaO & ۰/۷۰۰ \end{cases} \quad Al_2O_3 \quad ۰/۹۹۲ \qquad SiO_2 \quad ۹/۹۷۷$$

تمرین

۱ــ درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی لعابی به صورت جدول (۲ــ۷) است. فرمول زگر آن را محاسبه کنید.

جدول ۲ــ۷

اکسیدها	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	B_2O_3
مقدار (٪)	۵۷/۱۰	۱۰/۵۲	۵/۲۰	۱/۰۲	۱۱/۱۰	۱۶/۰۶

۲ــ فرمول زگر (زــ۳) موجود است،درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی این لعاب را محاسبه کنید.

Na_2O ۰/۱۴۰

K_2O ۰/۰۹۰

CaO ۰/۶۲۵ Al_2O_3 ۰/۳۰۰ SiO_2 ۲/۸۰۰ (ز ــ۳)

PbO ۰/۱۴۵

۳ــ درصد وزنی اکسیدهای تشکیل‌دهنده‌ی یک لعاب به صورت جدول (۳ــ۷) است.

جدول ۳ــ۷

اکسیدها	SiO_2	Al_2O_3	PbO	K_2O
مقدار (٪)	۵۱/۶۰	۸/۷۰	۳۳/۶۰	۶/۱۰

الف ــ مقادیر لازم کائولین، سرب بی‌سیلیکات، فلدسپات پتاسیک و کوارتز برای تأمین این آنالیز را محاسبه کنید (در این‌جا نیز کلیه مواد خالص در نظر گرفته شود).

ب ــ فرمول زگر این لعاب را محاسبه کنید.

۴ــ مقادیر بچ دو لعاب شماره (۱) و (۲) موجود است. فرمول زگر این دو لعاب را با یکدیگر مقایسه کنید.

لعاب شماره (۱):
- سرب مونوسیلیکات $PbO.SiO_2$ ۸۰/۱۱ kg
- کائولین ۴/۹۵ kg
- کوارتز ۲/۸۹ kg

لعاب شماره (۲):
- سرب سفید $PbO(OH)_2.2PbCO_3$ ۶۵/۰۰kg
- کائولین ۱۰/۰۰ kg
- کوارتز ۲۰/۰۰ kg

فصل هشتم

محاسبه ضریب انبساط حرارتی

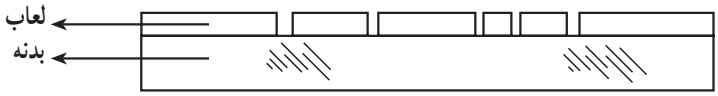
هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :
ــ با استفاده از نسبت مولی اجزای یک آمیز و ضریب انبساط حرارتی هریک از آن‌ها، ضریب انبساط حرارتی کل آمیز را حساب کند.

مقدمه

لعاب یک لایه شیشه‌ای است که جهت افزایش استحکام، ظرافت و زیبایی و بهداشتی نمودن بدنه، روی سطح سرامیک‌ها اعمال می‌شود. ساختار لعاب برخلاف ساختار بدنه که منظم می‌باشد، نامنظم (آمورف) است. تعیین ضریب انبساط حرارتی بدنه و لعاب، هر دو به روش دستگاهی و با استفاده از دیلاتومتر امکان‌پذیر است. در مورد لعاب و شیشه‌ها به‌دلیل آمورف بودن آن‌ها امکان محاسبه ضریب انبساط حرارتی وجود دارد.

۱ــ۸ــ محاسبه ضریب انبساط حرارتی لعاب

تطابق و هماهنگی بین ضریب انبساط حرارتی لعاب و بدنه، در کیفیت و استحکام قطعات سرامیکی نقش مؤثری دارد. لازم به تذکر است که به‌هنگام تولید بدنه‌های لعابدار، ضریب انبساط حرارتی لعاب اندکی کوچک‌تر از ضریب انبساط حرارتی بدنه درنظر گرفته می‌شود. در صورتی‌که ضریب انبساط حرارتی لعاب بزرگ‌تر از بدنه باشد، هنگام سرد شدن قطعه از دمای پخت تا دمای محیط، لعاب ترک خواهد خورد. از طرف دیگر اگر ضریب انبساط حرارتی لعاب بسیار کم‌تر از ضریب انبساط حرارتی بدنه باشد، احتمال پوسته‌ای شدن لعاب نیز وجود خواهد داشت (مطابق شکل ۱ــ۸). حال با توجه به اهمیت و نقش ضریب انبساط حرارتی در کیفیت محصول پخته شده، به تعریف این خاصیت و چگونگی محاسبه‌ی آن می‌پردازیم.



الف ــ ۱ــ۸ــ عیب ترک خوردن لعاب

ب ــ۱ــ۸ــ عیب پوسته‌کردن لعاب

شکل ۱ــ۸ــ عیوب ایجاد شده در لعاب به علت تفاوت زیاد ضریب انبساط بدنه و لعاب

بنابر تعریف، مقدار تغییر طول نسبی ماده ($\frac{\Delta L}{L_1}$) را به ازای تغییر دما به‌اندازه یک درجه کلوین، ضریب انبساط حرارتی آن ماده گویند. می‌دانیم که انبساط حرارتی خطی اجسام را با رابطه (۱ــ۸) نمایش می‌دهند.

$$L_2 = L_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \qquad (۱ــ۸)$$

در این رابطه L_2 طول قطعه در درجه حرارت T_2، L_1 طول قطعه در درجه‌حرارت T_1 و α ضریب انبساط حرارتی خطی جسم است. رابطه (۱ــ۸) را می‌توان به‌صورت دیگری نوشت :

$$L_2 - L_1 = L_1\alpha(T_2 - T_1)$$

$$\Rightarrow \Delta L = L_1\alpha\ \Delta T \quad \Rightarrow \boxed{\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}}$$

این رابطه، مبنای اندازه‌گیری دستگاهی ضریب انبساط حرارتی با استفاده از دستگاه دیلاتومتر[1] است. روش کار با دیلاتومتر به این صورت است که ابتدا قطعه را با روش معمول در خط تولید ــ مثلاً اگر روش تولید ریخته‌گری دوغابی باشد به صورت دوغابی و اگر روش تولید پرس باشد به کمک پرس ــ به ابعاد استاندارد شکل‌دهی کرده، حال اگر هدف تعیین رفتار حرارتی در حالت خام باشد، پس از خشک‌کردن نمونه، آن‌را در داخل دستگاه قرار داده و کوره دستگاه را پس از تنظیم کردن روشن می‌کنیم، سیستم رایانه دستگاه منحنی حرارتی را برحسب تغییرات طول نسبی ($\frac{\Delta L}{L_1}$) نسبت به حرارت رسم می‌کند. در مورد لعاب و شیشه می‌توان از طریق محاسبه، ضریب انبساط حرارتی را از روی آنالیز اکسیدهای تشکیل‌دهنده به تقریب به‌دست آورد.

برخی از محققین با تهیه و ارائه ضریب برای اکسیدهای متداول در لعاب‌های سرامیکی، در

۱ــ دیلاتومتر دستگاهی است که تغییرات طول ناشی از تغییرات درجه حرارت را اندازه‌گیری و رسم می‌کند.

جدول ۱ــ۸ ــ ضرایب مربوط به محاسبه‌ی ضریب انبساط حرارتی لعاب

ماده	وینکلمن و شوت	انگلیش و ترنر (۲۵ــ۹۵° C)	هال (نقطه بحرانی پایینی ــ ۲۰° C)	واتر من و ترنر (۰ــ۱۵۰° C)	ون‌گورون و اسپانگن برگر
P_2O_5	۹/۴۶		٪۶۰ ۲/۴۰		
SiO_2	۱/۶۰	۰/۱۵	٪۷۰ ۲/۰۴		
			٪۸۰ ۱/۵۶		۰/۸۰
TiO_2			٪۹۰ ۰/۹۰		۶/۶
ZnO_2					۱/۴
B_2O_3	۰/۲۳	– ۴/۶	۱/۴		– ۱/۵
Al_2O_3	۱۷/۰	۱/۴۳	۵/۱		۰/۴۷
Fe_2O_3					۰/۰
BeO					۰/۵
					۰/۱
MgO	۰/۱۳	۱/۸	۰/۸۱		۱۳/۸
CaO	۹/۳	۹/۱	۸/۴	۹/۰	۱۹/۲
Se_2O	–	–	–	–	–
BaO	۱۵/۳	۲۱/۵	۱۸/۴		۲۹/۱
ZnO	۴/۹	۵/۷	۸/۱		۵/۰
PbO	۲۲/۳	۲۳/۷	۱۶/۷		
FeO					
MnO					
Li_2O				۱۴/۶	
Na_2O	۲۰/۷	۲۶/۸	۲۳/۶	۲۵/۹	۲۵/۸
K_2O	۲۶/۷	۳۶/۷	۲۸/۳	۳۲/۰	
Rb_2O				۴۸/۶	۵۰/۰

در بالای هر ستون مربوط به ضرایب، نام محققین پیشنهاد دهنده و محدوده حرارتی که در آن ضریب مورد نظر قابل استفاده است دیده می‌شود. دارای واحد $\frac{۱}{\text{درصد مولکولی} \times k}$ هستند.

جهت محاسبه‌ی ضریب انبساط حرارتی لعاب از روی ترکیب آن، تلاش‌هایی کرده‌اند. در روش‌های ارائه شده از سوی این افراد با ضرب‌کردن ضریب مربوط به هر جزء اکسیدی لعاب در درصد مولکولی آن جزء و به‌دست آوردن مجموع این مقادیر، ضریب انبساط حرارتی لعاب محاسبه می‌شود. جدول (۱ــ۸) ضرایب پیشنهاد شده از سوی محققین مختلف و شرایط دمایی متفاوت را نشان می‌دهد. با قرار دادن این ضرایب در رابطه (۲ــ۸) می‌توان ضریب انبساط حرارتی را محاسبه کرد.

$$۱۰^{۶} \times \frac{\Delta L}{L_{۱} \Delta T} = f_{۱}p_{۱} + f_{۲}p_{۲} + f_{۳}p_{۳} + \ldots + f_{n}p_{n} \qquad (۲ــ۸)$$

در این رابطه، f ضریب هر اکسید و p درصد مولی آن در لعاب (یا شیشه) است.

نتایج تجربی حاصل از به کارگیری این ضرایب، نشان داده است که استفاده از آن در مورد تمامی لعاب‌ها و درجات حرارت، با صحت کافی امکان‌پذیر نیست. با این‌حال در بعضی از شرایط با استفاده از این محاسبات می‌توان تخمین‌هایی را پیرامون ضریب انبساط حرارتی لعاب انجام داد و یا دو لعاب مختلف را از نظر ضریب انبساط حرارتی با یکدیگر مقایسه کرد.

مثال ۱: آمیز لعابی در جدول (۲ــ۸) آمده است. با استفاده از ضرایب وینکلمن و شوت، ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.

جدول ۲ــ۸

نوع اکسید	$SiO_{۲}$	$Al_{۲}O_{۳}$	CaO	MgO	$Na_{۲}O$	$B_{۲}O_{۳}$
درصد وزنی	۵۰/۵	۱۴/۱	۶/۴	۰/۴	۱۰/۲	۱۸/۴

حل:

برای محاسبه‌ی تعداد مول از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود :

$$\text{تعداد مول} = \frac{\text{درصد وزنی}}{\text{وزن مولکولی}}$$

بنابراین تعداد مول اکسیدهای موجود را بدین‌ترتیب به‌دست می‌آوریم :

$SiO_{۲} : ۵۰/۵ \div ۶۰/۱ = ۰/۸۴۰$

$Al_{۲}O_{۳} : ۱۴/۱ \div ۱۰۲ = ۰/۱۳۸$

$CaO : ۶/۴ \div ۵۶/۱ = ۰/۱۱۴$

$MgO : ۰/۴ \div ۴۰/۳ = ۰/۰۰۹$

$Na_{۲}O : ۱۰/۲ \div ۶۲ = ۰/۱۶۴$

B_2O_3 : ۱۸/۴ ÷ ۶۹/۶ = ۰/۲۶۴

سپس برای محاسبه درصد مولی، تعداد مول هر جزء را به مجموع تعداد مول‌ها تقسیم می‌کنیم :

۰/۸۴۰ + ۰/۱۳۸ + ۰/۱۱۴ + ۰/۰۰۹ + ۰/۱۶۴ + ۰/۲۶۴ = ۱/۵۲۹

(مجموع تعداد مول‌ها)

SiO_2 : ۰/۸۴۰ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۵۴۹۳

Al_2O_3 : ۰/۱۳۸ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۰۹۰۲

CaO : ۰/۱۱۴ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۰۷۴۵

MgO : ۰/۰۰۹ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۰۰۵۸

Na_2O : ۰/۱۶۴ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۱۰۷۲

B_2O_3 : ۰/۲۶۴ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۱۷۲۶

حال با استفاده از رابطه (۲ــ۸) و ضرایب وینکلمن ــ شوت (موجود در جدول ۱ــ۸)، می‌توانیم ضریب انبساط حرارتی را محاسبه کنیم.

$$10^{6} \times \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} = \underset{0/8788}{(0/5493 \times 1/60)} + \underset{1/5334}{(0/0902 \times 17/0)} + \underset{0/6928}{(0/0745 \times 9/3)} +$$

$$\underset{0/00075}{(0/0058 \times 0/13)} + \underset{2/2190}{(0/1072 \times 20/7)} + \underset{0/0396}{(0/1726 \times 0/23)}$$

$$\Rightarrow 10^{6} \times \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} = 5/36$$

$$\frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} = \alpha \Rightarrow \quad 10^{6} \times \alpha = \quad 5/36$$

$$\Rightarrow \alpha = \quad \frac{5/36}{10^{6}} \Rightarrow \alpha = \quad 5/36 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{K}\right)$$

مثال ۲ : آمیز لعابی درجدول (۳ــ۸) موجود است.

جدول ۳ــ۸

نوع اکسید	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	B_2O_3
درصد وزنی	۵۲	۱۴/۱	۶/۴	۰/۴	۸/۷	۱۸/۴

الف ــ با استفاده از ضرایب وینکلمن و شوت ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.

ب ــ ضریب انبساط حرارتی به‌دست آمده را با ضریب انبساط حرارتی لعاب موجود در جدول (۲ــ۸) مقایسه کنید. از این مقایسه چه نتیجه‌ای می‌گیرید. در صورتی که بدنه‌ای با ضریب انبساط حرارتی $(\frac{1}{K})5/45\times10^{-6}$ داشته باشید، احتمال پوسته کدام‌یک از این دو لعاب بیش‌تر خواهد بود؟

حل:

الف ــ همانند مثال قبل، ابتدا تعداد مول هر جزء را محاسبه می‌کنیم.

$SiO_2 : 52/0 \div 60/1 = 0/865$

$Al_2O_3 : 14/1 \div 102 = 0/138$

$CaO : 6/4 \div 56/1 = 0/114$

$MgO : 0/4 \div 40/3 = 0/009$

$Na_2O : 8/7 \div 62 = 0/140$

$B_2O_3 : 18/4 \div 69/6 = 0/264$

سپس برای محاسبه درصد مولی، تعداد مول هر جزء را به مجموع تعداد مول‌ها تقسیم می‌کنیم :

$0/866 + 0/138 + 0/114 + 0/009 + 0/140 + 0/264 = 1/531$

$SiO_2 : 0/865 \div 1/531 = 0/565$

$Al_2O_3 : 0/138 \div 1/531 = 0/0901$

$CaO : 0/114 \div 1/531 = 0/0745$

$MgO : 0/009 \div 1/531 = 0/0058$

$Na_2O : 0/140 \div 1/531 = 0/0915$

$B_2O_3 : 0/264 \div 1/531 = 0/1725$

حال ضریب انبساط حرارتی را محاسبه می‌کنیم :

$$10^6 \times \frac{\Delta L}{L\Delta T} = \underset{0/9040}{(0/565\times1/60)} + \underset{1/5317}{(0/0901\times17/00)} + \underset{0/6928}{(0/0745\times9/3)} +$$

$$\underset{0/0007}{(0/0058\times0/13)} + \underset{1/894}{(0/0915\times20/70)} + \underset{0/0396}{(0/1725\times0/23)}$$

$$\Rightarrow 10^6 \times \frac{\Delta L}{L\Delta T} = 5/06$$

$$\frac{\Delta L}{L\Delta T} = \alpha \Rightarrow \quad ۱۰^{۶} \times \alpha = \quad ۵/۰۶$$

$$\alpha = \quad ۵/۰۶ \times ۱۰^{-۶} (\frac{۱}{K})$$

ب ــ از مقایسه ضریب انبساط حرارتی این دو لعاب متوجه می‌شویم که اولاً ضریب انبساط حرارتی لعاب مثال ۲ کم‌تر از لعاب مثال ۱ است و ثانیاً افزایش درصد $SiO_۲$ به‌ازای کاهش درصد $Na_۲O$ ، موجب این تغییرات شده است. با توجه به آنچه قبلاً گفته شد، نتیجه می‌گیریم که احتمال پوسته‌شدن لعاب مثال ۲ بیشتر از لعاب موجود در جدول (۲ــ۸) است.

تمرین

۱ــ آمیز لعابی در جدول (۴ــ۸) موجود است. با استفاده از ضرایب وینکلمن و شوت ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.

جدول ۴ــ۸

نوع اکسید	$SiO_۲$	$Al_۲O_۳$	CaO	BaO	$Na_۲O$	$K_۲O$	$B_۲O_۳$
درصد وزنی	۶۰/۸۰	۸/۰۰	۷/۸۶	۲/۳۸	۶/۱۲	۲/۰۱	۱۲/۸۴

۲ــ ضریب انبساط حرارتی آمیز لعاب در تمرین قبل را با استفاده از ضرایب انگلیش و ترنر محاسبه کنید. از این مقایسه به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟

۳ــ آمیز لعابی درجدول (۵ــ۸) موجود است. با استفاده از ضرایب وینکلمن و شوت و انگلیش و ترنر ضرایب انبساط حرارتی لعاب را محاسبه کنید. از مقایسه نتایج حاصله به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟ از مقایسه نتیجه به‌دست آمده از ضرایب انگلیش و ترنر برای این آمیز و آمیز لعاب تمرین شماره (۱) به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟ از مقایسه نتیجه به‌دست آمده از ضرایب وینکلمن و شوت برای این آمیز و آمیز لعاب تمرین (۱) به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟ آیا می‌توان گفت که در صورت استفاده از هریک از ضرایب موجود در جدول (۱ــ۸) برای دو لعاب مختلف، می‌توان ضرایب انبساط حرارتی آن دو لعاب را به‌طور نسبی با یکدیگر مقایسه کرد؟

جدول ۵ــ۸

نوع اکسید	$SiO_۲$	$Al_۲O_۳$	CaO	$Na_۲O$	$K_۲O$	$B_۲O_۳$	PbO	ZnO
درصد وزنی	۳۵/۹	۵/۰	ــ	۲/۷	۰/۳	۵/۰	۴۳/۵	۷/۶

فصل نهم

آسیاب گلوله‌ای و محاسبات مربوط به آن

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ حجم انواع جارمیل و بال‌میل را محاسبه کند.

۲ــ نسبت حجم مواد قابل بارگیری در جارمیل و بال‌میل در سایش تر و خشک را بیان کند.

۳ــ وزن مواد اولیه قابل سایش را با مشخص بودن وزن مخصوص مواد اولیه در بال میل و جارمیل، محاسبه کند.

۴ــ سرعت مناسب و بحرانی بال‌میل و جارمیل را محاسبه کند.

۵ــ مقدار آب لازم راجهت کاهش دانسیته دوغاب و رسیدن به دانسیته مشخص محاسبه نماید.

۶ــ مقدار ماده اولیه لازم را جهت افزایش دانسیته دوغاب تا رسیدن به دانسیته مشخص محاسبه کند.

مقدمه

در ادامه مرحله خردایش مواد اولیه سرامیک به مرحله پایانی می‌رسیم که آسیاب کردن نام دارد. آسیاب کردن در اثر فشار ناشی از ضربه و سایش صورت می‌گیرد. این مرحله بسیار با اهمیت است و می‌توان گفت کیفیت مواد اولیه به فرآوری آن‌ها و آسیاب‌کردن صحیح وابسته است و همواره ۵۰٪ انرژی در مرحله خردایش صرف آسیاب کردن می‌شود. در صنایع سرامیک معمولاً آسیاب‌کردن به دو روش خشک‌ساب و ترساب صورت می‌گیرد. معمولاً در آزمایشگاه از جارمیل، ولی در کارگاه و صنایع از بال میل بهره گرفته می‌شود.

جنس جداره داخلی و خارجی جارمیل‌ها از چینی سخت و پلاستیک فشرده و... و بال‌میل‌ها فولاد می‌باشد. برای پوشش داخلی (لاینینگ) بال میل‌ها از آجرهای ساخته شده از چینی

سخت، آلومینا، استاتیت و یا قطعات لاستیکی استفاده می‌شود.

بال‌میل‌های صنایع سرامیک یک استوانه فولادی دارای پوشش داخلی مناسب می‌باشند که درون آن‌ها گلوله از جنس چینی سخت، آلومینا یا فلینیت در ابعاد مختلف استفاده می‌شود. مواد ساییدنی در حین چرخیدن بال‌میل دراثر فشار ناشی از وزن خود، غلتیدن و سقوط گلوله‌ها متلاشی و به ذرات ریزتر تبدیل می‌گردند و درنتیجه دانه‌بندی ریزتر ذرات که هدف از آسیاب کردن است، حاصل می‌شود.

۱ــ۹ــ تعیین حجم جارمیل و بال‌میل

همان‌طورکه گفته شد شکل هندسی جارمیل و بال‌میل استوانه است با داشتن ابعاد داخلی استوانه حجم آن محاسبه می‌شود. با داشتن سطح قاعده استوانه و ارتفاع داخلی آن می‌توان حجم را محاسبه کرد. واحد حجم را می‌توان برحسب لیتر، سانتی‌مترمکعب، دسی‌مترمکعب و یا مترمکعب و... انتخاب کرد. برای محاسبه حجم یک استوانه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$V = \pi . r^{۲} . h$

$V =$ حجم استوانه

$r =$ شعاع قاعده داخلی بال‌میل

$h =$ ارتفاع داخلی بال‌میل

مثال ۱: حجم استوانه‌ای که قطر داخلی (d) آن ۱۲۰۰ میلی‌متر و دارای ارتفاع داخلی ۲۲۰ سانتی‌متر می‌باشد را برحسب مترمکعب و لیتر محاسبه نمایید.

$d = ۱۲۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۱/۲ m \qquad h = ۲۲۰ \div ۱۰۰ = ۲/۲ m$

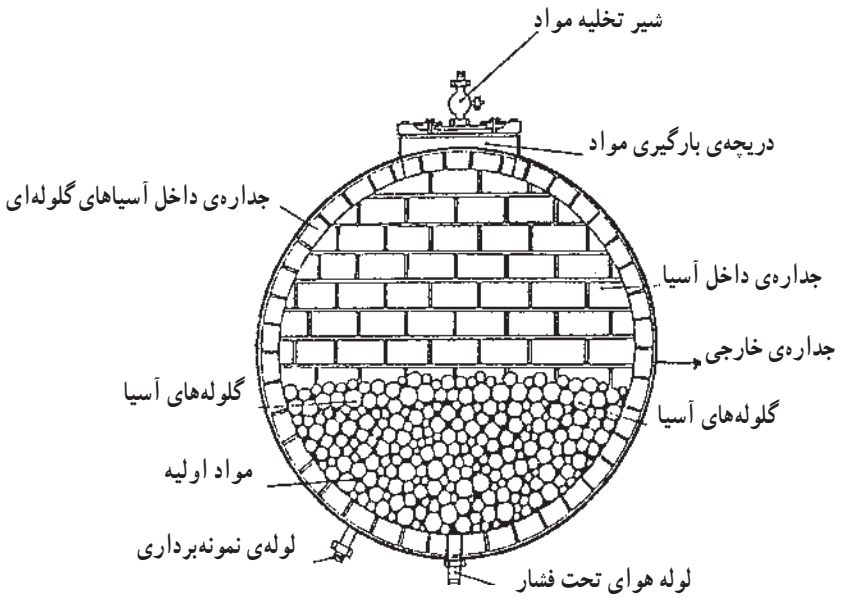
$$r = \frac{d}{۲} = \frac{۱/۲}{۲} = ۰/۶ m$$

$$V = \pi . r^{۲} . h = ۳/۱۴ \times (۰/۶)^{۲} \times ۲/۲ = ۲/۴۸ m^{۳}$$

$$۲/۴۸ \times ۱۰۰۰ = ۲۴۸۰ l$$

چون هر مترمکعب ۱۰۰۰ لیتر می‌باشد پس حجم استوانه معادل ۲۴۸۰ لیتر است.

مثال ۲: اگر قطر خارجی یک بال میل (D) ۱۱۰ سانتی‌متر، ضخامت پوشش داخلی ۵ سانتی‌متر، ضخامت بدنه ورق فلزی ۲ سانتی‌متر ارتفاع (طول) بال‌میل ۱۵۰ سانتی‌متر باشد، حجم داخلی (مفید) بال‌میل را برحسب لیتر محاسبه نمایید؟



برای محاسبه حجم داخلی بال‌میل به قطر داخلی آن نیاز است.

قطر خارجی = D = ۱۱۰ سانتی‌متر

قطر داخلی = d = ۱۱۰ − [*۲ × (۵ + ۲)] = ۹۶ سانتی‌متر

شعاع داخلی = $\frac{d}{۲} = \frac{۹۶}{۲}$ = ۴۸ سانتی‌متر = ۰/۴۸ متر

ارتفاع خارجی = H = ۱۵۰ سانتی‌متر = ۱/۵ متر

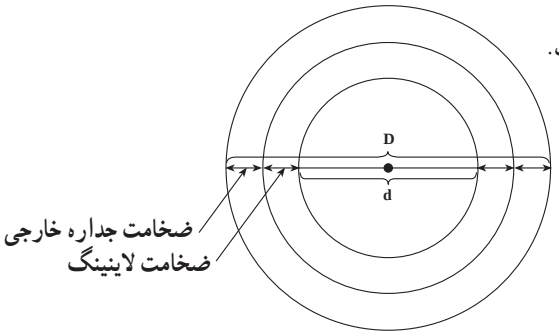
ارتفاع داخلی = h = ۱۵۰ − [**۲ × (۵ + ۲)] = ۱۳۶ سانتی‌متر = ۱/۳۶ متر

$V = \pi . r^{۲} . h$ $V = ۳/۱۴ \times (۰/۴۸)^{۲} \times ۱/۳۶ \simeq ۰/۹۸۴$ مترمکعب = ۹۸۴ لیتر

---

* برای محاسبه‌ی قطر داخلی بال‌میل، چون جداره‌ی خارجی ولاینینگ در دو طرف قاعده‌ی آسیاب وجود دارد می‌بایست عدد(۲) در مجموع ضخامت جداره خارجی ولاینینگ ضرب شود.

** توضیح بالا در محاسبه‌ی ارتفاع داخلی نیز صادق است.



۲ــ۹ــ تقسیم‌بندی حجمی بال‌میل در خشک‌سابی و ترسابی

در روش خشک‌ساب معمولاً حجم داخلی بال‌میل به ۳ قسمت مساوی تقسیم می‌شود. $\frac{۱}{۳}$ حجم برای گلوله‌ها و $\frac{۱}{۳}$ حجم برای مواد اولیه و $\frac{۱}{۳}$ حجم باقی‌مانده، فضای خالی می‌ماند.

در تر سابی، حجم داخلی بال‌میل به ۴ قسمت مساوی تقسیم می‌گردد. $\frac{۱}{۴}$ حجم(٪ ۲۵) برای آب، $\frac{۱}{۴}$ حجم برای مواد اولیه، $\frac{۱}{۴}$ حجم برای گلوله و $\frac{۱}{۴}$ باقی مانده فضای خالی است. چون مخلوط آب و مواد اولیه دوغاب را تشکیل می‌دهد پس $\frac{۱}{۲}$ حجم بال میل دوغاب است.

مثال ۳: حجم مفید بال‌میل ترسابی ۵۰۰ لیتر می‌باشد. ٪۲۵ حجم مفید بال‌میل را مشخص نمایید.

$$۵۰۰ \times \frac{۲۵}{۱۰۰} = ۱۲۵ \text{ لیتر}$$

مثال ۴: درصورتی که $\frac{۱}{۳}$ حجم مفید جارمیل خشک‌ساب ۲ لیتر باشد، حجم مفید جارمیل چند لیتر است؟

$$x = ۲ \div \frac{۱}{۳} = ۲ \times \frac{۳}{۱} = ۶ \text{ لیتر} \quad \text{(حجم مفید جارمیل)}$$

برای تعیین سهمیه وزنی چهارگانه (آب، ماده اولیه، گلوله و فضای خالی) جارمیل و بال‌میل ترساب با مشخص‌بودن حجم آن‌ها می‌توان از رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ استفاده کرد که در آن m جرم، V حجم و ρ وزن مخصوص است.

مثال ۵: حجم داخلی (مفید) یک بال‌میل تر ساب ۶۰۰ لیتر می‌باشد. چه مقدار وزنی آب با وزن مخصوص ۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب، مواد اولیه با میانگین وزن مخصوص ۲/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب، گلوله با وزن مخصوص ۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای بارگیری این بال‌میل مورد نیاز است؟

$$V = \frac{۶۰۰ \times ۲۵}{۱۰۰} = ۱۵۰ \ l = ۰/۱۵۰ m^۳ \text{ سهمیه‌ی حجمی هر جزء داخل بال میل}$$

محاسبه سهمیه‌ی وزنی آب

$$\text{آب } \rho = 1\ g/cm^3 \Rightarrow \text{آب } \rho = 1\times 1000 = 1000\ kg/m^3$$

$$\text{آب } \rho = 1000\ kg/m^3 \quad \rho = \frac{m}{v} \quad 1000 = \frac{m}{0/15} \Rightarrow m = 150kg$$

محاسبه سهمیه‌ی وزنی گلوله :

$$\text{گلوله } \rho = 3000\frac{kg}{m^3} \Rightarrow 3000 = \frac{m}{0/150} \Rightarrow m = 0/150\times 3000 = 450kg \text{ گلوله}$$

محاسبه سهمیه‌ی مواداولیه :

$$\rho = 2500\frac{kg}{m^3} \Rightarrow 2500 = \frac{m}{0/150} \Rightarrow m = 0/150\times 2500 = 375kg$$

نکته: توجه داشته باشید که چون در این محاسبات برای آب و ماده اولیه حجم برابر درنظر گرفته شده است پس وزن مخصوص دوغاب در صورت تغییرنکردن میانگین وزن مخصوص مواد اولیه همواره ثابت خواهد ماند.

درصد حجم اشغال‌شده توسط هر یک از مواد اولیه در بال‌میل و جارمیل با معلوم بودن وزن هر یک از مواد اولیه را می‌توان محاسبه کرد. همچنین محاسبه حجم مواد اولیه و درصدی از حجم کل بال‌میل که توسط هریک از مواد اولیه اشغال شده است، ممکن می‌باشد. برای آشنایی با روش محاسبه مثالی آورده می‌شود.

مثال ۶: وزن مواد اولیه افزوده شده به بال‌میل ترسابی $450kg$ می‌باشد.

اگر وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل به تفکیک $250kg$ کائولین زدلیتز $100kg$ سیلیس همدان و $100kg$ فلدسپات چغایی بوده و حجم کل بال‌میل $720l$ باشد، درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از ماده اولیه را محاسبه نمایید. (میانگین وزن مخصوص مواد اولیه $2/5\ g/cm^3$)

$$\text{حجم کل مواد اولیه} \quad \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{450000}{2/5} = 180000cm^3 = 180l$$

$$450kg\times 1000 = 450/000g$$

حجم کل مواد اولیه	وزن کل مواد
۱۸۰l	۴۵۰kg
حجم کائولین زدلیتز x = ۱۰۰l	۲۵۰
۱۸۰l	۴۵۰kg
حجم سیلیس همدان y = ۴۰l	۱۰۰
۱۸۰l	۴۵۰kg
حجم فلدسپات چغایی x = ۴۰l	۱۰۰
حجم کائولین زدلیتز	حجم بال‌میل به Lit
۱۰۰l	۷۲۰
درصد حجم کائولین زدلیتز Z = ۱۳/۹٪	۱۰۰
حجم سیلیس همدان ۴۰l	۷۲۰Lit
درصد حجم سیلیس همدان x = ۵/۶٪	۱۰۰
حجم فلدسپات چغایی ۴۰l	۷۲۰Lit
K = ۵/۶٪	۱۰۰
درصد حجم فلدسپات چغایی	

درصد حجم باقی‌مانده بال میل جهت آب، گلوله و فضای خالی

$$۱۰۰-(۱۳/۹+۵/۶+۵/۶)=۱۰۰-۲۵/۱=۷۴/۹٪\simeq ۷۵٪$$

۳ـ۹ـ محاسبه سرعت دورانی بال میل‌ها

سرعت دورانی مناسب در بال‌میل ترساب ٪۶۰ تا ٪۷۰ سرعت بحرانی آن می‌باشد. سرعت بحرانی از رابطه $N_C=\frac{۴۲}{\sqrt{d}}$ که در آن N_C سرعت بحرانی برحسب rpm (دور بر دقیقه)و d قطر داخلی بال‌میل برحسب متر است. سرعت دورانی مناسب در بال‌میل خشک ساب پائین‌تر از ترساب و حدود ٪۸۰ تا ٪۹۰ سرعت بحرانی است.

مثال ۷: سرعت دورانی بال‌میل ترساب با قطر خارجی ۱۵۵۰ میلی‌متر و ضخامت دیواره (مجموع ضخامت لاینینگ و جداره‌ی فلزی) ۲۰۰ میلی‌متر را محاسبه کنید. (سرعت دورانی مناسب را ۶۵ درصد سرعت بحرانی بگیرید).

میلی‌متر ۱۱۵۰ = (۲۰۰×۲) − ۱۵۵۰ = قطر داخلی

متر ۱/۱۵ = ۱۱۵۰ ÷ ۱۰۰۰ = d قطر داخلی

$$N_C = \frac{۴۲}{\sqrt{۱/۱۵}} = \frac{۴۲}{۱/۰۷۲} = ۳۹\text{rpm}$$

سرعت دورانی مناسب برای بال‌میل ترساب $\frac{۶۵}{۱۰۰} \times ۳۹ = ۲۵$ rpm = سرعت دورانی مناسب

مثال ۸: سرعت بحرانی بال میلی ۴۰rpm است درصورتی که ضخامت لاینینگ آن ۱۵۰میلی‌متر و ضخامت ورق فلزی ۱۰ میلی‌متر باشد قطر خارجی بال میل را برحسب mm محاسبه نمایید.

$$۴۰ = \frac{۴۲}{\sqrt{d}} \Rightarrow \sqrt{d} = \frac{۴۲}{۴۰} = ۱/۰۵ \Rightarrow d = ۱/۰۵^۲$$

قطر داخلی بال میل $d = ۱/۱m = ۱۱۰۰mm$

قطر خارجی بال میل ۱۱۰۰ + ۲×۱۵۰ + ۲×۱۰ = ۱۴۲۰mm

۴ــ۹ــ تعیین مقدار آب لازم جهت تصحیح دانسیته دوغاب

با معلوم‌بودن وزن لیتر دوغاب می‌توان با افزودن آب یا مواد اولیه به آن، دوغابی با وزن لیتر کم‌تر یا بیش‌تر ساخت.

رابطه $m = \frac{\rho_۱}{\rho_۱ - \rho_۲}(L_g - V)$ برای این منظور به‌کار می‌رود که در آن :

$\rho_۱$: میانگین وزن مخصوص مواد اولیه موجود در دوغاب به $g/cm^۳$

$\rho_۲$: وزن مخصوص مایع موجود در دوغاب به $g/cm^۳$

L_g : وزن دوغاب با حجم V برحسب گرم

V : حجم L_g گرم دوغاب برحسب $cm^۳$

m : مقدار ماده خشک موجود در L_g گرم دوغاب برحسب گرم

مثال ۹: چه مقدار آب برای ساختن دوغابی با وزن مخصوص $۱/۶۵ g/cm^۳$ جهت افزودن به ۲۰۰۰ گرم لعاب خشک با وزن مخصوص $۲/۸ g/cm^۳$ لازم است؟

درصورتی‌که وزن و حجم آب لازم را به‌ترتیب x و y فرض کنیم، می‌توانیم بنویسیم :

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع جرم اجزای آمیز دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای آمیز دوغاب}}$$

$$\text{حجم آمیز دوغاب} = \frac{۲۰۰۰}{۲/۸} = ۷۱۴/۲\,cm^۳$$

$$۱/۶۵ = \frac{۲۰۰۰+x}{۷۱۴/۲+y}$$

چون چگالی آب ۱ است نتیجه می‌گیریم وزن و حجم آن از نظر عددی یکی می‌باشد. پس برای تعیین حجم آب مورد نیاز داریم :

$$۱/۶۵ = \frac{۲۰۰۰+y}{۷۱۴/۲+y}$$

$$y = ۱۲۶۴\ cm^۳ \text{ حجم آب مورد نیاز}$$

مثال ۱۰: مقدار الکلی که باید به ۱۰۰۰g پودر سیمان پرتلند افزوده شود تا وزن مخصوص دوغاب ۱۷۵۰ g/l گردد، را محاسبه نمایید. (به دلیل واکنش‌پذیری سیمان پرتلند با آب در هنگام اندازه‌گیری وزن مخصوص به آن الکل اضافه می‌شود).

$$\rho_{\text{الکل}} = ۰/۸\,g/cm^۳$$

$$\rho_{\text{سیمان پرتلند}} = ۳/۳\,g/cm^۳$$

$$m = \frac{\rho_۱}{\rho_۱ - \rho_۲}(L_g - V)$$

$$m = \frac{۳/۳}{۳/۳-۰/۸}(۱۷۵۰-۱۰۰۰) = \frac{۳/۳}{۲/۵}\times ۷۵۰ = ۹۹۰g \text{ پودر سیمان}$$

$$۱۷۵۰-۹۹۰ = ۷۶۰ \text{ الکل موجود در یک لیتر دوغاب}$$

پودر سیمان	الکل
۹۹۰g	۷۶۰g
۱۰۰۰	x = ۷۶۷/۶۷g

مقدار الکل لازم برای افزودن به ۱۰۰۰g پودر سیمان

$$\rho_۲ = \frac{m}{V} = \frac{۷۶۷/۶۷}{V} = ۰/۸$$

$$V = \frac{۷۶۷/۶۷}{۰/۸} = ۹۵۹/۶\,cm^۳$$

بنابراین حجم الکل مورد نیاز برای افزودن به ۱۰۰۰ گرم پودر سیمان پرتلند جهت رسیدن به وزن لیتری ۱۷۵۰ gr/Lit برابر با ۹۵۹/۶ سانتی‌مترمکعب است.

تمرین

۱ــ اگر در یک بال میل قطر خارجی ۳۴۰۰ میلی‌متر، ضخامت آجر به‌کار گرفته شده در پوشش داخلی ۲۰ سانتی‌متر، ارتفاع بیرونی بال‌میل ۵/۱۰ متر و ضخامت جدار فلزی خارجی ۲۰ میلی‌متر باشد. حجم مفید این بال‌میل را برحسب مترمکعب و لیتر حساب کنید.

۲ــ جار میلی از جنس چینی سخت با حجم کل ۵ لیتر (غیرمفید) مورد نظر است اگر ارتفاع آن ۶۰ سانتی‌متر و ضخامت دیواره‌اش ۲۰ میلی‌متر باشد قطر داخلی آن‌را به‌دست آورید.

۳ــ ۱۵٪ حجم داخلی یک بال میل ۵۰۰,۰۰۰ میلی‌مترمکعب است حجم داخلی بال میل را حساب کنید.

۴ــ چه مقدار آب، مواد اولیه و گلوله برای بارگیری یک بال‌میل آزمایشگاهی با حجم مفید ۳۰۰ لیتر لازم است درصورتی‌که میانگین وزن مخصوص مواد اولیه ۲/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب، گلوله ۲/۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب و آب ۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب باشد (نسبت حجمی ۲۵٪ رعایت گردد).

۵ــ مقدار حجم اشغال‌شده توسط هر یک از مواد اولیه (برحسب لیتر)را در مخلوط به‌دست آورید اگر مقدار وزنی مواد اولیه عبارتند از : فلدسپات چغایی ۶۲/۵ کیلوگرم، سیلیس همدان ۵۰۰۰ گرم و زنوز شسته ۱۴۰ کیلوگرم. اگر حجم کل بال میل ۳۰۰ لیتر باشد با محاسبه نشان دهید چه مقدار آب باید به بال میل افزوده شود تا ۵۰٪ حجم مفید بال میل توسط دوغاب اشغال گردد (میانگین وزن مخصوص مواد اولیه $2/5\ g/cm^3$ در نظر گرفته شود).

۶ــ سرعت بحرانی برحسب rpm (دور بر دقیقه) برای یک بال‌میل ترسابی با قطر خارجی ۱۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت یک طرفه جداره لاستیکی ۷۰ میلی‌متر و ضخامت ورق فلزی بال میل ۱/۵ سانتی‌متر را حساب کنید.

۷ــ مقدار آب مورد نیاز برای افزودن به ۱۰,۰۰۰ گرم پودر بدنه خشک با وزن مخصوص ۲/۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب جهت رسیدن به وزن لیتر ۱۸۵۰ g/Lit را برحسب لیتر به‌دست آورید (وزن مخصوص آب $1\ g/cm^3$ در نظر گرفته شود).

جدول ضمیمه (۱) ــ فرمول مولکولی مینرال‌ها و اکسیدهای موجود در مواد اولیه

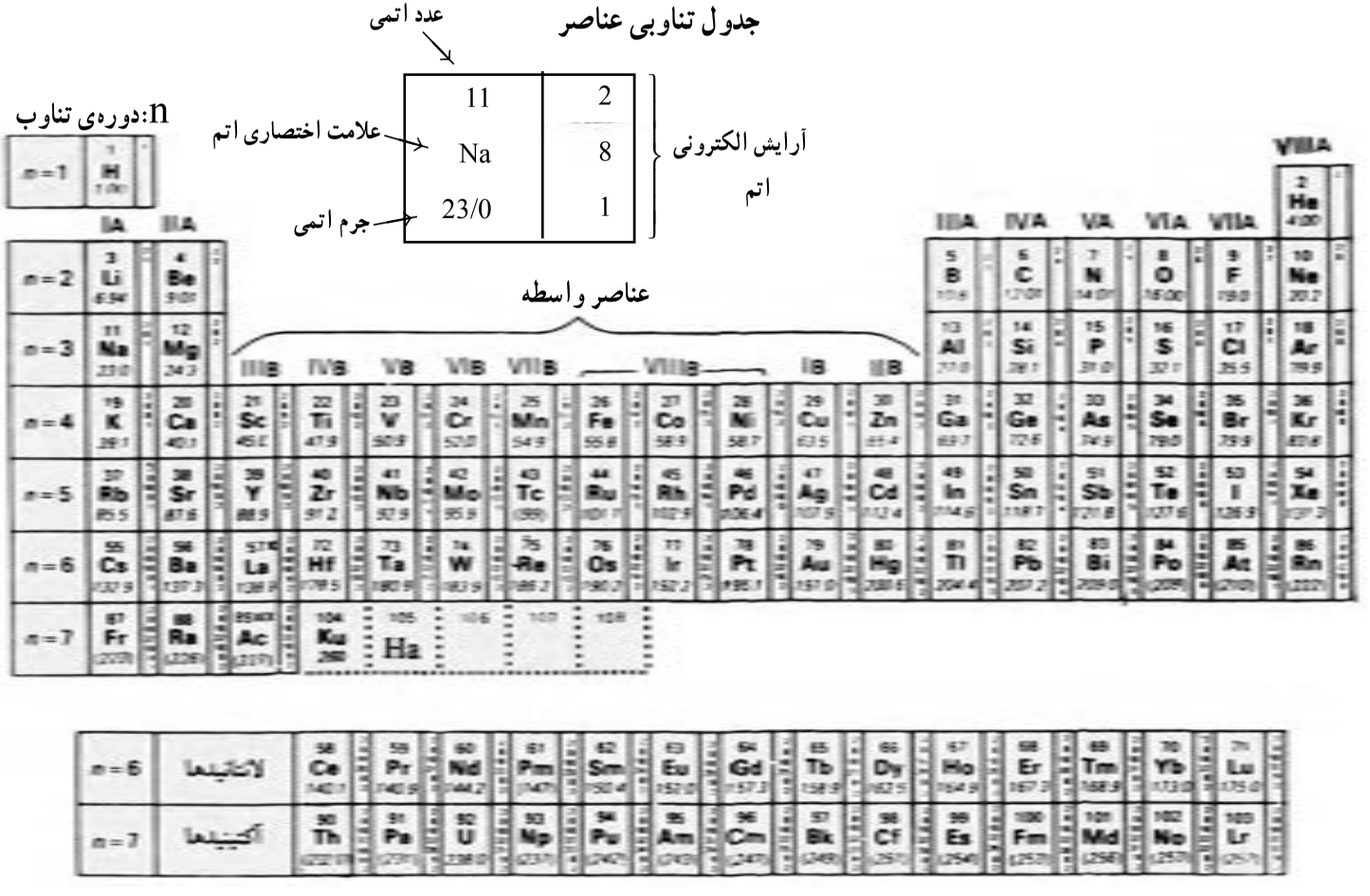
نام ماده	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g)
Albite (soda spar)	$Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	524.6
Alumina	Al_2O_3	102
Anatase (see titania)		
Andalusite	Al_2SiO_5	162.1
Anhydrite	$CaSO_4$	136.2
Anorthite	$CaO.Al_2O_3.2SiO_2$	278.3
Antimony oxide	Sb_2O_3	291.6
Aragonite (see calcium carbonate)		
Arsenious oxide	As_2O_3	197.8
Barium carbonate	$BaCO_3$	197.3
Barium chloride	$BaCl_2.2H_2O$	244.3
Barium chromate	$BaCrO_4$	253.3
Barium hydroxide	$Ba(OH)_2.8H_2O$	315.3
Barium oxide	BaO	153.3
Barium sulfate (barite)	$BaSO_4$	233.4
Bismuth oxide	Bi_2O_3	466.0
Bone ash	$13CaO.4P_2O_5.CO_2$ (approx)	1341.3
Borax	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	381.2
Boric acid	H_3BO_3	61.8
Boric oxide	B_2O_3	69.6
Calcite (see calcium carbonate)		
Calcium borate (colemanite)	$Ca(BO_2)_2.2H_2O$	161.7
Calcium carbonate (whiting)	$CaCO_3$	100.1
Calcium chloride	$CaCl_2.6H_2O$	219.1
Calcium chloride (anhydrous)	$CaCl_2$	111.1
Calcium fluoride (fluorspar)	CaF_2	78.1
Calcium hydroxide	$Ca(OH)_2$	74.1
Calcium orthophosphate	$Ca_3(PO_4)_2$	310.3
Calcium oxide (lime)	CaO	56.1
Calcium sulfate (gypsum)	$CaSO_4.2H_2O$	172.2
Carbon dioxide	CO_2	44.0
Chromium oxide	Cr_2O_3	152.0
Clay (kaolinite, china clay)	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	258.2
Cobaltic chloride	$CoCl_3$	165.4
Cobalt (II, III) oxide	Co_3O_4	240.7
Cobalt (III) oxide	Co_2O_3	165.8
Cobaltous carbonate	$CoCO_3$	118.9
Cobaltous chloride	$CoCl_2.6H_2O$	237.9
Cobaltous nitrate	$Co(NO_3)_2.6H_2O$	290.9
Cobaltous oxide	CoO	74.9
Cobaltous phosphate	$CO_3(PO_4)_2.3H_2O$	420.7
Cordierite	$Mg_2Al_4Si_5O_{18}$	585.1
Corundum (see alumina)		
Cryolite	Na_3AlF_6	210
Cupric carbonate (basic)	$CuCO_3.Cu(OH)_2$	221
Cupric chloride	$CuCl_2.2H_2O$	170.5
Cupric hydroxide	$Cu(OH)_2$	97.5

جدول ضمیمه (۱) ــ فرمول مولکولی مینرال‌ها و اکسیدهای موجود در مواد اولیه

نام ماده	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g)
Cupric nitrate	$Cu(NO_3)_2.6H_2O$	295.5
Cupric oxide	CuO	79.5
Cupric sulfate	$CuSO_4.5H_2O$	249.6
Cuprous chloride	$CuCl$	99.0
Cuprous hydroxide	$Cu(OH)$	80.5
Cuprous oxide	Cu_2O	143
Cuprous sulfate	$Cu_2SO_4.H_2O$	241.1
Diopside	$CaSiO_3.MgSiO_3$	216.6
Dolomite	$CaCO_3.MgCO_3$	184.4
Feldspar (see albite. anorthite. orthoclase)		
Ferric chloride	$FeCl_3$	162.3
Ferric hydroxide	$Fe(OH)_3$	106.8
Ferric oxide (hematite)	Fe_2O_3	159.6
Ferric sulfate	$Fe_2(SO_4)_3.9H_2O$	561.9
Ferro -terric oxide (magnetite)	Fe_3O_4	231.4
Ferrous carbonate (siderite)	$FeCO_3$	115.8
Ferrous oxide (wustite)	FeO	71.8
Ferrous sulfate	$FeSO_4.7H_2O$	277.9
Ferrous sulfit	FeS	87.9
Flint (see silica)		
Gypsum (see Calcium sulfate)		
Ilmenite	$FeTiO_3$	151.7
Kaolinite (see clay)		
Kyanite	Al_2SiO_3	130.1
Lead borate	$Pb(BO_2)_2.H_2O$	310.8
Lead carbonate	$PbCO_3$	267.2
Lead carbonate basic (white lead)	$2PbCO_3.Pb(OH)_2$	775.6
Lead chloride	$PbCl_2$	278.2
Lead dioxide	PbO_2	239.2
Lead oxide (litharge)	PbO	223.2
Lead oxide (red lead)	Pb_3O_4	685.6
Lithium carbonate	Li_2CO_3	73.8
Magnesium carbonate (magnesite)	$MgCO_3$	84.3
Magnesium chloride	$MgCl_2.6H_2O$	203.3
Magnesium oxide (magnesia, periclase)	MgO	40.3
Manganese dioxide	MnO_2	86.9
Manganous carbonate	$MnCO_3$	114.9
Manganous oxide	MnO	70.9
Microcline (see orthoclase)		
Mullite	$Al_6Si_2O_{13}$	426.2
Nickel chloride	$NiCl_2$	129.7
Nickel oxide	NiO	74.7
Niter (saltpeter)(see potassium nitrate)		
Orthoclase (potash spar)	$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	556.8
Potash spar (see orthoclase)		
Potassium carbonate	K_2CO_3	138.2

جدول ضمیمه (۱) ــ فرمول مولکولی مینرال‌ها و اکسیدهای موجود در مواد اولیه

نام ماده	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g)
Potassium chloride	KCl	74.5
Potassium chromate	K_2CrO_4	194.2
Potassium dichromate	$K_2Cr_2O_7$	294.2
Potassium ferrocyanide	$K_4Fe(CN)_6.3H_2O$	422.2
Potassium hydroxide	KOH	56.1
Potassium mica	$K_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$	796.8
Potassium nitrate (niter)	KNO_3	101.1
Potassium oxide (potash)	K_2O	94.2
Potassium permanganate	$KMnO_4$	158.1
Pyrophyllite	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	360.4
Quartz (sce silica)		
Silica (quartz, flint)	SiO_2	60.1
Silicic acid	H_2SiO_3	78.1
Sillimanite	Al_2SiO_3	162.1
Soda ash (see sodium carbonate)		
Soda spar (see albite)		
Sodium bicarbonate	$NaHCO_3$	84.0
Sodium carbonate (anhydrous)	Na_2CO_3	106.0
Sodium carbonate (hydrated) (soda ash)	$Na_2CO_3.10H_2O$	286
Sodium chloride (salt)	NaCl	58.4
Sodium chromate	$Na_2CrO_4.10H_2O$	342
Sodium dichromate	$Na_2Cr_2O_7.2H_2O$	298.0
Sodium hydroxide (caustic, lye)	NaOH	40.0
Sodium mica	$Na_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$	764.6
Sodium nitrate (soda niter)	$NaNO_3$	85.0
Sodium oxide (soda)	Na_2O	62.0
Sodium silicate	variable Na_2O:SiO_2 ratios	
Sodium sulfate (salt cake)	$Na_2SO_4.10H_2O$	322
Spinel	$MgAl_2O_4$	142.3
Strontium carbonate	$SrCO_3$	147.6
Strontium oxide	SrO	103.6
Sulfur dioxide	SO_2	64.1
Sulfur trioxide	SO_3	80.1
Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	379.3
Tin chloride (stannic)	$SnCl_4$	260.3
Tin chloride (stannous)	$SnCl_2$	189.5
Tin oxide (stannic)	SnO_2	150.7
Tin oxide (stannous)	SnO	134.7
Titania (rutile, anatase)	TiO_2	79.9
Uranium dioxide	UO_2	270.0
Uranium oxide	U_3O_8	842.0
Uranium trioxide	UO_3	286.0
Wollastonite	$CaSiO_3$	116.2
Zinc carbonate	$ZnCO_3$	125.4
Zinc oxide	ZnO	81.4
Zinc sulfate	$ZnSO_4.7H_2O$	287.5
Zirconia	ZrO_2	123.0
Zirconium silicate (zircon)	$ZrSiO_4$	183.1


جدول تناوبی عناصر
عدد اتمی
11
Na
23/0
2
8
1
علامت اختصاری اتم
جرم اتمی
آرایش الکترونی اتم
n:دوره‌ی تناوب
عناصر واسطه
IA
IIA
IIIA
IVA
VA
VIA
VIIA
VIIIA
IIIB
IVB
VB
VIB
VIIB
VIIIB
IB
IIB
Ha
لانتانیدها
اکتنیدها

تبدیل مقیاس‌ها*

طولی ــ سطحی ــ حجمی ــ وزنی

۱ کیلو گرم	۱۰۰۰ گرم		۱ متر مکعب	۱/۳۰۸ یارد مکعب
۱ من تبریز	۳ کیلوگرم		۱ یارد مکعب	۰/۷۶۴ متر مکعب
۱ پود روسی	۱۶/۳۸۰ کیلوگرم		۱ یارد مکعب	۰/۸۳۶ متر مربع
۱ کیلوگرم	۰/۰۶۱ پودر روسی		۱ یارد	۹۱/۴۴ سانتی‌متر
۱ ری	۴ من تبریز		۱ متر مربع	۱/۱۹۶ یارد مربع
۱ ری	۱۲ کیلوگرم		۱ متر مربع	۱۰/۷۶۴ فوت مربع
۱ خروار	۳۰۰ کیلوگرم		فوت مربع	۰/۰۹۳ متر مربع
۱ تن	۱۰۰۰ کیلوگرم		۱ اکر	۰/۴۰۴ هکتار
۱ خروار	۱۰۰ من تبریز		۱ کیلومتر	۰/۶۲۱ مایل
۱ چارک	۱۶۰ مثقال		۱ هکتار	۲/۴۷۱ اکر
۱ مثقال	۴/۶۸۷۵ گرم		۱ مایل	۱/۶۰۹ کیلومتر
۱ سیر	۱۶ مثقال		۱ مایل	۱۶۰۹/۳ متر
۱ نخود	۰/۱۹۵۳ گرم		۱ سانتی‌متر مربع	۰/۱۵۵ اینچ مربع
۱ پاند	۰/۴۵۳ کیلوگرم		۱ اینچ مربع	۶/۴۵۲ سانتی‌متر مربع
۱ من تبریز	۶۴۰ مثقال		۱ میلی‌متر	۰/۰۳۹ اینچ
۱ چارک	۱۰ سیر		۱ اینچ	۲۵/۴۰۰ میلی‌متر
۱ چارک	۷۵۰ گرم		۱ اینچ	۲/۵۴ سانتی‌متر
۱ اونس	۲۸/۳۵۰ گرم		۱ متر	۱/۰۹۳ یارد
۱ گرم	۰/۰۳۵ اونس		۱ یارد	۰/۹۱۴ متر
۱ کیلوگرم	۲/۲۰۲ پاند		۱ سانتی‌متر	۰/۳۹۳ اینچ
۱ سیر	۷۵ گرم		۱ لیتر	۱/۷۵۹۸ پینت
۱ گندم	۰/۰۴۸۸ گرم		۱ پینت	۰/۵۶۸ لیتر
۱ خروار	۴۶۰۰۰ مثقال		۱ گالن	۴/۵۴۶ لیتر
۱ ری	۲۵۶۰ مثقال		۱ گالن امپریال	۴/۵۴۹۲ لیتر
۱ مثقال	۲۴ نخود		۱ هکتار	۲/۴۷۱ جریب
۱ نخود	۴ گندم		۱ جریب	۰/۴۰۵ هکتار
۱ پاند	۴۵۳/۵۹ گرم		۱ یارد مربع	۸۳۶۰ سانتی‌متر مربع
۱ مایل مربع	۲/۵۹۰ کیلومتر مربع		۱ هکتار	۰/۰۱ کیلومتر مربع
۱ کیلومتر مربع	۰/۳۸۶ مایل مربع		۱ مایل دریایی	۶۰۸۰ فوت
۱ متر مکعب	۳۵/۳۱۵ فوت مکعب		۱ مایل دریایی	۱/۵۱۵۲ مایل
۱ فوت مکعب	۰/۰۲۸۳ مترمکعب		۱ فوت	۱۲ اینچ

* مرجع : مجله سینا کاشی

واژه‌نامه

Abrasion	سایش
Albite	آلبیت (فلدسپات سدیک)
Alcohol	الکل
Alkaline oxides	اکسیدهای قلیایی
Alumina	آلومینا (آلومینیم اکسید)
Amount	مقدار
Anorthite	آنورتیت (فلدسپات کلسیک)
Apparent density	دانسیته (چگالی) ظاهری
Area	سطح
Ball clay	بال کلی
Batch	آمیز (بچ)
Bentonite	بنتونیت
Borax	بوراکس
Bulk density	دانسیته (چگالی) کلّی
Calculation	محاسبه
Caliper	کولیس
Cement	سیمان
Ceramic industries	صنایع سرامیک
Charging	بارگیری
Chemical analysis	آنالیز شیمیایی
China clay	خاک چینی (کائولین)
Ciritical velocity	سرعت بحرانی
Cobalte	کبالت

Coefficient	ضریب
Comparison	مقایسه
Component	جزء
Dimension	بُعد
Dolomite	دولومیت
Dryer	خشک‌کن
Drying shrinkage	انقباض خشک
Dry length of test piece	طول خشک قطعه
Equal	مساوی، برابر
Expansion	انبساط
External diameter	قطر خارجی
External lining	جداره (لایه‌ی) خارجی
Factor	ضریب
Feldspar	فلدسپات
Firing shrinkage	انقباض پخت
Fluid	سوخت
Glass	شیشه
Graduated cylinder	استوانه مدّرج
Heat	حرارت
Height	ارتفاع
Immersion	غوطه‌وری
Impact	ضربه
Internal diameter	قطر داخلی
Internal lining	جداره (لایه‌ی) داخلی
Jar mill	جارمیل
Length	طول
Lining	جداره
Litre	لیتر
Loss on ignition	افت حرارتی
Measurment	اندازه‌گیری
Meter	متر

Mica	میکا
Mineral	مینرال، کانی
Mineral analysis	آنالیز مینرالی
Mixture	مخلوط
Moisture	رطوبت
Moisture content	مقدار رطوبت، درصد آب
Molecular formula	فرمول مولکولی
Molecular weight	وزن مولکولی
Multiples of units	اضعاف واحدها
Optimal	بهینه
Orthoclase	ارتوکلاز (فلدسپات پتاسیک)
Percent	درصد
Plaster mould	قالب گچی
Porcelain	چینی
Prefix	پیشوند
Pressure	فشار
Primary weight	وزن اولیه
Pycnometer	پیکنومتر
Quantity	کمیّت
Ratio	نسبت
Reactivity	واکنش‌پذیری
Rectangle	مستطیل
Relative density	چگالی نسبی
Rotation velocity	سرعت دورانی
Ruler	خط‌کش
Secondery weight	وزن ثانویه
Seger formula	فرمول زگر
Silica	سیلیس
Slip tank	مخزن دوغاب
Sodium carbonate (soda ash.)	کربنات سدیم
Solid materials	مواد جامد

Sphere	کُره
Square	مربع
Steel sheet	ورق فولادی
Submultiples of units	اجزاء واحدها
Suffix	پسوند
System	سیستم
Talc	تالک
Total shrinkage	انقباض کل
Triangle	مثلث
True density	چگالی حقیقی
Unit	واحد
Useful space	فضای مفید
Variation	تغییر
Volume	حجم
Volumetric flask	بالن ژوژه
Weight of a litre of slip	وزن لیتر دوغاب
Weight of test piece	وزن قطعه
Weight percent	درصد وزنی
Wet length of test piece	طول تر قطعه
Width	عرض
X ray diffraction (XRD)	پراش اشعه ایکس

جواب تمرینات آخر فصل‌های کتاب

فصل اول

جواب تمرین‌ها

۱ ـ الف $\frac{۴}{۳}r$ ب ـ $\frac{۲r}{۱+r}$

۲ـ $a = ۲\sqrt[۳]{\pi} \times r$

۳ـ ۲۰۰۰ mm و ۲,۰۰۰,۰۰۰ μm

۴ـ $۷/۵۳۶ \times ۱۰^{۸} mm^{۳}$ و $۷/۵۳۶ \times ۱۰^{-۱} m^{۳}$

۵ـ $۱۴۲۰/۲۵\ cm^{۲}$

فصل دوم

جواب تمرین‌ها

۱ـ ۳۹/۸kg و ۰/۵٪

۲ـ الف ـ ۷۶٪ ب ـ ۳/۱۶۶

۳ـ

نام ماده	سرب اکسید	بوراکس	سیلیس	فلدسپات پتاسیک (ارتوکلاز)
٪ وزنی	۵۷/۱۴	۱۴/۲۹	۲۱/۴۳	۷/۱۴

۴ـ ۰/۴۷٪

۵ـ ۳۷/۰۸g

۶ـ سرب سیلیکات لعاب ب بیشتر است.

نوع ماده	سرب سیلیکات	فریت‌بوروسیلیکاتی	سیلیس	کائولین
درصد وزنی لعاب الف	۱۹/۴۴	۵۲/۳۷	۱۴/۸۹	۱۳/۳
درصد وزنی لعاب ب	۲۱/۱۹	۶۶/۸۴	۷/۰۴	۴/۹۲

۷ـ ۷۴/۲۱٪

فصل سوم

جواب تمرین‌ها

۱ـ الف ـ $S_D =$ ۴٪

ب ـ $S_F =$ ۹/۳۷٪

ج ـ $S_t =$ ۱۳٪

۲ـ الف ـ $L_W =$ ۱۰/۶۵cm

ب ـ $L_D =$ ۱۰/۰۵cm

ج ـ $S_t =$ ۱۳/۶۱٪

۳ـ الف ـ ۱۵۰/۰۲۴ mm^3

ب
$$\left.\begin{array}{l} a = ۳/۹mm \\ b = ۳/۵۳mm \\ c = ۸/۷mm \end{array}\right\}$$

فصل چهارم

جواب تمرین‌ها

۱ـ چگالی شیشه ۲/۴۸ gr/cm^3 حجم اکسید آلومینیوم ۲۲/۴۸ cm^3

چگالی پارافین ۰/۷۸۴ gr/cm^3 جرم آب ۴۰۰۰gr

جرم کائولین ۱۵۶gr

حجم فولاد $۱/۲۹\times۱۰^{-۴} m^3$

۲ـ

الف ـ ۵/۰۶

ب ـ ۲/۸۳

ج ـ ۲/۹

د ـ ۲/۵

۳ـ ۰/۲۵ cm^3

۴ـ ۱۰۶/۸۱ cm^3

۵ـ ٪۳۲/۱۲

۶ـ $۱/۴۸ gr/cm^۳$

۷ـ ٪۱۲/۴

۸ـ $۱/۱۶ gr/cm^۳$

۹ـ $۳۶/۶ cm^۳$

فصل پنجم

جواب تمرین‌ها

۱ـ

نام اکسید	$SiO_۲$	$Al_۲O_۳$	CaO
مینرال آنورتیت	۴۳/۱۹	۳۶/۶۵	۲۰/۱۶

۲ـ

اکسیدها / نوع ماده	$SiO_۲$	$Al_۲O_۳$	MgO	$Na_۲O$	CaO	$CO_۲$	$H_۲O$
ماده اولیه A	۴۷/۳۶	۳۱/۷	۲/۱۸	۰/۶۹	۳/۰۴	۴/۷۷	۱۰/۲۸
						پرت حرارتی ۱۵/۰۵	

اکسیدها / نوع ماده	$SiO_۲$	$Al_۲O_۳$	$K_۲O$	CaO	$CO_۲$	$H_۲O$
ماده اولیه B	۵۶/۷۰	۲۷/۵۰	۱/۷	۲/۸	۲/۲	۹/۱
					پرت حرارتی ۱۱/۳	

۳ـ

نوع ماده (مینرال)	کائولین	فلدسپات پتاسیک (ارتوکلاز)	کوارتز	$TiO_۲$	$Fe_۲O_۳$	MgO	CaO	افت حرارتی (L.O.I)	جمع
درصد وزنی	۴۶/۶	۶/۵	۴۲/۴	۲	۱/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۸	۱۰۰

۴ـ

نوع ماده (مینرال)	فلدسپات پتاسیک (ارتوکلاز)	فلدسپات سریک (آلبیت)	کائولین	کوارتز	TiO_2	Fe_2O_3	MgO	CaO	افت حرارتی (L.O.I)	جمع
درصد وزنی	۲۳/۴۱	۲۷/۸۴	۱۵/۹۴	۳۰/۳۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۷	۱/۸۶	۰/۱۸	۱۰۰

فصل ششم

جواب تمرین‌ها

۱ـ ماده A ۴۷kg ماده B ۴۰/۳kg ماده C ۱۸/۶kg

۲ـ بدنه بدل چینی فلدسپاتی یا بدل چینی آهکی می‌باشد.

کائولین+ میکا	فلدسپات	کوارتز	جمع
۵۳/۳	۱۰	۳۶/۷	۱۰۰

۳ـ الف : $W_W = \frac{۱۰۰ w_d}{۱۰۰ - M_W}$

ب : مقدار بال کلی ترکیه ۴۲/۱ با واحد مشخص می‌باشد.

مقدار فلدسپات بروجرد ۱/۶ با واحد مشخص می‌باشد.

۴ـ

ماده اولیه	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز	جمع
A	۳۶/۳	۱۹/۸	۴۳/۹	۱۰۰
B	ـ	۸۵	۱۵	۱۰۰
C	۱۴	۵۰/۵	۳۵/۵	۱۰۰

۵ـ $x = ۱۵۲/۳\%$ ، $y = ۸۷\%$ و $z = -۱۳/۹\%$ عدد مربوط به z ، منفی و غیرقابل قبول است.

۶ـ اگر بال‌کلی شماره ۱ و ۲ جابه‌جا شوند چون درصد مصرفی هرکدام ۳۰٪ است بنابراین مشکلی ایجاد نخواهد شد و اعداد تغییر نخواهند کرد.

کائولین	فلدسپات	کوارتز	جمع
۴۵/۱۹	۱۰/۹۳	۴۳/۸۸	۱۰۰

۷ـ $a = ۲۹/۶۸ \quad b = ۴۲/۰۱ \quad c = ۲۸/۲۲$

فصل هفتم

جواب تمرین‌ها

۱ـ $SiO_۲$ ۳/۲ $Al_۲O_۳$ ۰/۳۴۷ CaO ۰/۳۱۲

$B_۲O_۳$ ۰/۷۷۷ MgO ۰/۰۸۵

$Na_۲O$ ۰/۶۰۳

۲ـ

اکسیدها	$SiO_۲$	$Al_۲O_۳$	PbO	CaO	$K_۲O$	$Na_۲O$
مقدار ٪ وزنی	۵۹/۳۶	۱۰/۸	۱۱/۴۲	۱۲/۳۷	۲/۹۹	۳/۰۶

۳ـ الف :

نام ماده	کائولین	سرب بی‌سیلیکات	فلدسپات پتاسیک	کوارتز	جمع
مقدار مورد نیاز	۵/۳۲	۵۱/۷	۳۶/۰۵	۷/۶۷	۱۰۰/۷۴

ب : $SiO_۲$ ۳/۹۷۲ $Al_۲O_۳$ ۰/۳۹۳ $K_۲O$ ۰/۳۰۱

PbO ۰/۶۹۹

۴ـ $SiO_۲$ ۱/۳۰۴ $Al_۲O_۳$ ۰/۰۶۷ PbO ۱ فرمول زگر لعاب شماره ۱

$SiO_۲$ ۱/۵۴۱ $Al_۲O_۳$ ۰/۱۴۷ PbO ۱ فرمول زگر لعاب شماره ۲

در مورد لعاب شماره ۲ هم $Al_۲O_۳$ و هم $SiO_۲$ ارقام بالاتری دارند، بنابراین لعاب دوم نقطه ذوب و استحکام بالاتری دارد.

فصل هشتم

جواب تمرین‌ها

۱ـ $\alpha = ۴/۵۷ \times ۱۰^{-۶}(\frac{۱}{K})$

۲ـ $\alpha \simeq 2/8 \times 10^{-6} (\frac{1}{K})$ مقدار ضریب انبساط حرارتی حاصل از ضرایب انگلیش و ترنر کمتر از ضرایب حاصل شده از وینکلمن و شوت است.

۳ـ براساس وینکلمن و شوت $\alpha \simeq 11/113 \times 10^{-6} (\frac{1}{K})$ براساس انگلیش و ترنر $\alpha \simeq 10/486 \times 10^{-6} (\frac{1}{K})$

فصل نهم

جواب تمرین‌ها

۱ـ $32/05 m^3$ و $32050 l$

۲ـ $d = 6/3 cm$

۳ـ $3333/3 l$

۴ـ مواد $187/5 kg$ گلوله $210 kg$ آب $75 kg$

۵ـ زنوز $25 l$، سیلیس $4 l$، فلدسپات $56 l$، مقدار آب مورد نیاز $75 l$

۶ـ $N_C = 41/38 \simeq 41/4 rpm$

۷ـ مقدار آب مورد نیاز $3/7 l$

فهرست منابع

۱ــ رحیمی، افسون ؛ متین، مهران. «تکنولوژی سرامیک‌های ظریف (جلد دوم)»، شرکت خاک چینی ایران.

2- Griffiths, R. ; Radford; C. "Calcnlations in Ceramics" / Inaclaren & sons LTD/ 1965.

3- Taglor, J.R. ; Bull, A.C. "Ceramic Glaze Technolegy" / Pergamon Press / 1986.

4- Singer, Felix ; singer, Sonja. "Industrial Ceramics" /Chapman & Hall LTD/ 1960.

5- Nordyke, John S. "Lead in the world of Ceramics" / The American Ceramic Society / 1984.

6- Ches ters, J.H. "Refractonies" / The metals society / 1983.