

### محاسبه آمیز بدنه بر اساس آنالیز مینرالی مواد اولیه

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

- ۱- آنالیز مینرالی برخی از بدنه‌های سرامیکی را بیان کند.
- ۲- با داشتن آنالیز مینرالی مواد اولیه و بدنه، درصد مواد اولیه مورد نیاز برای ساخت بدنه را محاسبه کند.
- ۳- با مشخص بودن 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 (۶-۱) آنالیز مینرالی برخی از بدنه‌های سرامیک آمده است.

جدول ۶-۱- ترکیب مینرالی برخی از بدنه‌های سرامیکی

ردیف	نام بدنه	% کائولین	% فلدسپات	% کوارتز
۱	چینی سخت استاندارد	۵۰	۲۵	۲۵
۲	چینی سفره	۴۷-۵۰	۲۰-۲۳	۲۷-۳۰
۳	چینی هتل	۵۰-۵۵	۲۲-۲۳	۲۲-۲۸
۴	چینی پخت و یز	۶۰-۷۰	۲۰	۱۰-۲۰
۵	چینی نرم استاندارد	۳۵-۴۲	۳۰-۳۵	۲۳-۳۰
۶	چینی بهداشتی	۴۵	۳۰	۲۵
۷	بدل چینی فلدسپاتی	۴۰-۵۵	۳-۱۲	۳۵-۵۵
۸	بدل چینی آهکی	۵۰-۵۵	۵-۱۰ (کلسیم کربنات)	۳۵-۴۵

در ادامه در جدول (۶-۲) آنالیز شیمیایی چند مینرال و در جدول (۶-۳) آنالیز مینرالی چند ماده اولیه آمده است.

جدول ۶-۲- آنالیز شیمیایی برخی از مینرال‌ها

اکسید مینرال	SiO <sub>۲</sub>	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	K <sub>۲</sub> O	CaO	H <sub>۲</sub> O	CO <sub>۲</sub>
کائولینیت	۴۶/۵	۳۹/۵	-	-	۱۴	-
ارتوکلاز	۶۴/۸	۱۸/۳	۱۶/۹	-	-	-
کوارتز	۱۰۰	-	-	-	-	-
کلسیت	-	-	-	۵۶	-	۴۴

جدول ۶-۳- آنالیز مینرالی برخی از مواد اولیه‌ی داخلی و خارجی

ماده اولیه	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز	کلسیم کربنات	مواد آلی	Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	TiO <sub>۲</sub>	جمع
کائولین زنوز نشسته	۱۰ + ۳۰	۴/۸	۵۰	۵	-	۰/۱	۰/۱	۱۰۰
بال کلی ترکیه	۲۰/۵ + ۵۹	-	۱۴/۶	۱	۳	۱/۵	۰/۴	۱۰۰
فلدسپات بروجرد	-	۸۷/۸	۱۱	۱	-	۰/۱	۰/۱	۱۰۰
سیلیس همدان	-	-	۱۰۰	-	-	-	-	۱۰۰
خاک آبعلی	۱۰	۴۸	۴۰	-	-	۱/۵	۰/۵	۱۰۰

۱-۶- محاسبه درصد یکی از مواد اولیه خشک لازم برای ساخت بدنه‌ی مورد نظر با استفاده از داده‌های جدول‌های (۶-۱)، (۶-۲) و (۶-۳) اقدام به محاسبه درصد مواد اولیه برای ساخت یک بدنه‌ی بدل چینی می‌گردد:

مثال ۱: مقدار فلدسپات بروجرد مورد نیاز جهت ساخت بدنه‌ی بدل چینی فلدسپاتی را با توجه به آنالیز مینرالی آمده در جدول ۶-۴ برحسب درصد پیدا کنید، در صورتی که از کائولین زنوز نشسته، بال کلی ترکیه، سیلیس همدان و خاک آبعلی به ترتیب به میزان ۶۸/۸، ۱۵، ۱۰/۱ و ۲ درصد استفاده شود.

جدول ۴-۶- آنالیز مینرالی بدنه‌ی بدل چینی فلدسپاتی

کوارتز	فلدسپات	کائولین + میکا
۴۸	۱۲	۴۰

حل:

چون هدف تعیین درصد مواد اولیه است به طوری که مینرال‌های مورد نیاز بدنه را تأمین کند، ابتدا مینرال‌های تشکیل دهنده‌ی 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، کلسیم کربنات و آهن اکسید و تیتانیم اکسید در بدنه و در پخت مشابه بوده و به عنوان کمک ذوب می‌باشد). بنابراین در محاسبات مجموع درصد این مواد در ستون فلدسپات قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است که چون بال کلی 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  $\frac{100}{100-3}$

ضرب می‌کنیم، بدین ترتیب مجموع مینرال‌های همراه بال کلی ترکیه پس از حذف مواد آلی به عدد ۱۰۰ خواهد رسید و ما برای محاسبات خود از این اعداد جدید (که در جدول ۵-۶ آمده‌اند) استفاده می‌کنیم. در جدول ۵-۶ درصد مصرفی مواد اولیه آمده است و فقط میزان فلدسپات بروجرد مجهول است. با توجه به اینکه از کائولین زنون نشسته به میزان ۶۸/۸ درصد برای ساخت بدنه‌ی بدل چینی 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 ۵-۶- خلاصه شده آنالیز مینرالی مواد اولیه

کوارتز	فلدسپات (کمک ذوب)	کائولین + میکا	%	ماده اولیه
۵۰	۱۰	۴۰	۶۸/۸	کائولین زنون نشسته
۱۵	۳	۸۲	۱۵	بال کلی ترکیه
۱۱	۸۹	۰	x	فلدسپات بروجرد
۱۰۰	۰	۰	۱۰	سیلیس همدان
۴۰	۵۰	۱۰	۲	خاک آبعلی
۴۸	۱۲	۴۰		بدنه‌ی مورد نظر بدل چینی فلدسپاتی

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

$$\begin{array}{cc} \text{قسمت کائولین + میکا} & \text{قسمت کائولین زنوز نشسته} \\ ۴۰ & ۱۰۰ \\ ? & ۶۸/۸ \end{array}$$

همانطور که می دانید با طرفین وسطین کردن این تناسب، مقدار ؟ به صورت  $\frac{۴۰ \times ۶۸/۸}{۱۰۰} = ۲۷/۵۲$  به دست خواهد آمد. با نوشتن تناسب های مشابه برای دو ستون فلدسپات و کوارتز، مقدار این مینرال ها برای ۶۸/۸ درصد کائولین زنوز نشسته به ترتیب ۶/۸۸ و ۳۴/۴ به دست 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 تناسب های مشابه برای سایر مواد اولیه (که البته درصد مصرفی هریک از آن ها را) می توان مشخص کرد که به ازای مقدار مشخصی از هر ماده ی اولیه، چه مقدار از مینرال ها وارد بدنه خواهند شد. در مورد فلدسپات بروجرد که درصد مصرفی آن مجهول است نیز نحوه ی نوشتن تناسب ها به همین گونه است یعنی :

$$\begin{array}{cccc} \text{قسمت کوارتز} & \text{قسمت فلدسپات بروجرد} & \text{قسمت فلدسپات} & \text{قسمت فلدسپات بروجرد} \\ ۱۱ & ۱۰۰ & ۸۹ & ۱۰۰ \\ ? = \frac{۱۱}{۱۰۰} x & x & ? = \frac{۸۹}{۱۰۰} x & x \end{array}$$

با استفاده از اعداد به دست آمده، از تناسب ها، جدول ۶-۶ را رسم می کنیم (در تمامی مراحل حل مسأله دقت داشته باشید که برای هریک از مواد اولیه مجموع اعدادی که از تناسب ها به دست می آیند، برابر با درصد مصرفی آن ماده ی اولیه در بدنه باشند. مثلاً برای کائولین زنوز نشسته داریم :

$$۶۸/۸ = ۲۷/۵ + ۶/۹ + ۳۴/۴$$

جدول ۶-۶ درصد مینرال های موجود در درصد مصرفی هر ماده ی اولیه

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

برای این که بتوان با استفاده از مواد اولیه‌ی فوق، با درصدهای معلوم، بدنه‌ی بدل چینی فلدسپاتی ساخت، می‌بایست مجموع هریک از ستون‌های مینرالی جدول ۶-۶ برابر با آنالیز مینرالی بدنه‌ی بدل چینی 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

$$27/5 + 12/3 + 0/2 = 40 \quad \text{تساوی صحیح}$$

$$6/88 + 0/45 + \frac{89}{100}x + 1 = 12 \quad \text{معادله‌ی ۱}$$

$$34/4 + 2/25 + \frac{11}{100}x + 10/1 + 0/8 = 48 \quad \text{معادله‌ی ۲}$$

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

$$6/88 + 0/45 + \frac{89}{100}x + 1 = 12$$

$$\frac{89}{100}x = 12 - 6/88 - 0/45 - 1$$

$$\frac{89}{100}x = 3/67$$

$$x = 4/1$$

حال باید جواب به دست آمده برای x را در معادله‌ی ۲ امتحان کنیم به جای x عدد ۴/۱ را قرار

می‌دهیم.

$$34/4 + 2/25 + \frac{11}{100} \times 4/1 + 10/1 + 0/8 \stackrel{?}{=} 48$$

$$48 = 48$$

همان‌طور که 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 قرار دادن عدد ۴/۱ به جای درصد مصرفی فلدسپات بروجد و جمع زدن درصدهای مصرفی جدول (۶-۶) امتحان می‌کنیم.

$$68/8 + 15 + 4/1 + 10/1 + 2 \stackrel{?}{=} 100$$

$$100 = 100$$

بدین ترتیب درست بودن عدد به دست آمده کاملاً تأیید می شود.

لازم به ذکر است اگر به جای فلدسپات بروجرد که میزان مینرال های کائولین + میکا در آن صفر در نظر گرفته شده، یکی از مواد اولیه ی کائولین زنون نشسته یا بال کلی ترکیه مجهول بودند، به جای دو معادله و یک مجهول، به سه معادله و یک مجهول می رسیدیم. در آن صورت از نظر ریاضی می بایست جواب به دست آمده از یکی از معادلات را در دو معادله ی دیگر امتحان می کردیم و اگر جواب هر دو معادله ی دیگر را تبدیل به تساوی درست می کرد (همانند چیزی که برای معادله ی (۴) اتفاق افتاد) جواب قابل قبول و در غیر این صورت جواب غیر قابل قبول خواهد بود.

در انتها مجدداً جدول (۶-۶) را به همراه اعداد به دست آمده رسم کرده و حاصل جمع ستون های فلدسپات و کوارتز را کنترل می نماییم. همان طور که می بینید جمع اعداد حاصل، تقریباً برابر آنالیز مینرالی بدنه ی بدل چینی فلدسپاتی شده و بنابراین اعداد به دست آمده برای درصد مصرفی مواد اولیه قابل قبول است.

ماده اولیه	درصد مصرفی	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز
کائولین زنون نشسته	۶۸/۸	۲۷/۵	۶/۹	۳۴/۴
بال کلی 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 ستون ها	۱۰۰	۴۰	۱۱/۹۵	۴۸
بدنه مورد نظر (بدل چینی فلدسپاتی)		۴۰	۱۲	۴۸

## ۶-۲- محاسبه آنالیز مینرالی بدنه با آمیز مشخص

با توجه به آمیز که درصد مواد اولیه مورد استفاده در بدنه را نشان می دهد و مشخص بودن آنالیز مینرالی مواد اولیه، امکان محاسبه آنالیز مینرالی بدنه فراهم است، به مثال زیر توجه کنید.  
مثال ۲: آنالیز مینرالی بدنه ای را با کمک آنالیز مینرالی، مواد اولیه جدول (۶-۷) محاسبه نمایید.

جدول ۶-۷- آنالیز مینرالی مواد اولیه

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

حل:

با ضرب کردن درصد هر ماده اولیه در مینرال‌های تشکیل دهنده‌ی آن به تفکیک مقدار هر مینرال وارد شده توسط آن ماده‌ی اولیه به بدنه مشخص می‌شود. در جدول (۸-۶) 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 ۸-۶- 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

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

با توجه به این که 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 این گونه 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 معادله‌ی برحسب  $x$  و  $y$  جایگزین می‌نماییم.

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

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 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:

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

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



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

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

### ۳-۶- محاسبه درصد مواد اولیه خشک برای ساخت بدنه با آنالیز مینرالی مشخص

در نظر بگیرید برای ساخت نوع خاصی بدنه سرامیکی تعدادی مواد اولیه در اختیار دارید که آنالیز مینرالی بدنه و مواد اولیه مشخص هستند. برای این که بدانید چه مقدار از هر ماده اولیه لازم است تا مخلوط آن‌ها آنالیز مینرالی بدنه مورد نظر را به شما بدهد، اغلب باید یک دستگاه معادلات چند مجهولی تشکیل داده و آن را حل کنید. برای توضیح بیشتر به جدول (۹-۶) دقت کنید.

جدول ۹-۶- 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  $c$  در نظر بگیریم. به عنوان مثال مینرال‌های موجود در  $a$  قسمت ماده‌ی اولیه A را می‌توان یافت. مقدار کاتولین وارد شده توسط  $a$  قسمت ماده اولیه‌ی  $a$ :

قسمت ماده اولیه A

$$100$$

$$a$$

قسمت K + M

$$K_a$$

$$x = \frac{a \times K_a}{100}$$

با تناسب‌های مشابه درمی‌یابیم که  $\frac{b \times K_b}{100}$  کاتولین توسط ماده‌ی اولیه B و  $\frac{c \times K_c}{100}$  کاتولین

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  $100$  ضرب می‌شوند با نوشتن معادلات مشابه برای فلدسپات و کوارتز دستگاه زیر را خواهیم داشت.

$$\begin{cases} a.K_a + b.K_b + c.K_c = K_m \times 100 \\ a.F_a + b.F_b + c.F_c = F_m \times 100 \\ a.Q_a + b.Q_b + c.Q_c = Q_m \times 100 \end{cases}$$

بدیهی است که با حل این معادلات مجهول‌های  $a$ ،  $b$  و  $c$  مشخص و در واقع 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:  $K: 50\%$ ،  $F: 25\%$  و  $Q: 25\%$

برای ساخت این بدنه از چهار ماده اولیه کاتولین زدلیتز ( $a\%$ )، زنوز نشسته ( $b\%$ )، فلدسپات بروجرد ( $c\%$ ) و سیلیس همدان ( $10\%$ ) استفاده می‌شود. آنالیز مینرالی مواد اولیه اشاره شده و بدنه مورد نظر در جدول (۶-۱۰) آورده شده است.

جدول ۶-۱۰ — آنالیز مینرالی مواد اولیه و بدنه چینی سخت

نام ماده اولیه	درصد مصرفی	K	F	Q	$\Sigma$
کاتولین زدلیتز	a	۹۵	۲	۳	۱۰۰
کاتولین زنوز نشسته	b	۴۰	۱۰	۵۰	۱۰۰
فلدسپات بروجرد	c	۰	۸۹	۱۱	۱۰۰
سیلیس همدان	$d=10$	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
بدنه چینی سخت استاندارد		۵۰	۲۵	۲۵	۱۰۰

ابتدا دستگاه معادلات را می‌نویسیم:

$$\begin{cases} 95a + 40b + 0 \times c + 0 \times d = 50 \times 100 & (1) \\ 2a + 10b + 89c + 0 \times d = 25 \times 100 & (2) \\ 3a + 50b + 11c + 100d = 25 \times 100 & (3) \end{cases}$$

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

$$95a + 40b = 5000 \quad (4)$$

$$2a + 10b + 89c = 2500 \quad (5)$$

$$3a + 50b + 11c + 100 \times 10 = 2500 \rightarrow 3a + 50b + 11c = 1500 \quad (6)$$

اگر از معادله ۱ مقدار b را برحسب a یافته در معادلات بعدی (۵ و ۶) را توسط آن جایگزین کنیم دو معادله و دو مجهول حاصل خواهد شد.

$$95a + 40b = 5000 \quad b = \frac{5000 - 95a}{40} \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2a + 10 \times \frac{5000 - 95a}{40} + 89c = 2500 \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 3a + 50 \times \frac{5000 - 95a}{40} + 11c = 1500 \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2a + 1250 - 23/75a + 89c = 2500 \quad | \times 11 | \rightarrow -21/75a + 89c = 1250 \\ 3a + 6250 - 118/75a + 11c = 1500 \quad | -89 | \rightarrow -115/75a + 11c = -4750 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -239/25a + 979c = 13750 \\ 10301/75a - 979c = 422750 \end{array} \right. + \Rightarrow 10062/5a = 436500 \rightarrow \boxed{a = 43/4\%}$$

$$\frac{5000 - 95a}{40} = \boxed{b = 21/9\%}$$

با قراردادن a و b در معادله‌ی شماره ۲ :

$$\left\{ \begin{array}{l} 2a + 10b + 89c + 0 \times d = 2500 \\ 2 \times 43/4 + 10 \times 21/9 + 89c = 2500 \\ 89c = 2194/2 \end{array} \right.$$

$$\boxed{c = 24/7} \quad d = 10\% \quad \text{داریم}$$

$$a + b + c + d = 43/4 + 21/9 + 24/7 + 10 = 100$$

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. حاصل ضرب درصد ماده اولیه در مینرال‌های تشکیل دهنده آن مقدار هر مینرال در ماده اولیه را نشان می‌دهد. با جمع اعداد هر ستون در جدول (۶-۱۱) مقدار مینرال آن ستون به دست می‌آید که باید با مقدار مینرال مورد نیاز بدنه چینی سخت استاندارد هم خوانی داشته باشد.

در ردیف پایین جدول (۶-۱۱) که جمع ستون مینرال‌ها را نشان می‌دهد، آنالیز مینرالی بدنه چینی سخت که بدنه پیشنهادی برای این مثال بود، حاصل شده است.

جدول ۶-۱۱ - محاسبه آنالیز مینرالی بدنه به کمک درصد مصرفی مواد اولیه و آنالیز مینرالی

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

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

$$۹۵a + ۴۰b = ۵۰۰۰$$

$$۲a + ۱۰b + ۸۹c = ۲۵۰۰$$

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

همان‌طور که می‌بینید ۳ معادله و ۳ مجهول  $a$ ،  $b$  و  $c$  داریم. برای حل، از معادله ۱ مقدار  $b$  را برحسب مجهول  $a$  به دست آورده و در معادلات شماره ۲ و ۳ به جای  $b$  جایگزین می‌کنیم.

$$\left\{ \begin{array}{l} ۹۵a + ۴۰b = ۵۰۰۰ \quad \text{معادله ۱} \Rightarrow b = \frac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} \\ ۲a + ۱۰b + ۸۹c = ۲۵۰۰ \quad \text{معادله ۲} \quad ۲a + ۱۰ \times \frac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} + ۸۹c = ۲۵۰۰ \\ ۳a + ۵۰b + ۱۱c = ۳۰۰ \quad \text{معادله ۳} \quad ۳a + ۵۰ \times \frac{۵۰۰۰ - ۹۵a}{۴۰} + ۱۱c = ۳۰۰ \end{array} \right.$$

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

$$\begin{cases} 2a + 1250 - 23/75a + 89c = 2500 \\ 3a + 6250 - 118/75a + 11c = 300 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -21/75a + 89c = 1250 \\ -115/75a + 11c = -5950 \end{cases}$$

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

$$\begin{array}{r} 11 \times \left\{ \begin{array}{l} -21/75a + 89c = 1250 \\ -115/75a + 11c = -5950 \end{array} \right. \\ -89 \times \left\{ \begin{array}{l} -21/75a + 89c = 1250 \\ -115/75a + 11c = -5950 \end{array} \right. \\ \hline 10062/5a = 54330 \Rightarrow a = 53/99 \end{array}$$

$$a \approx 54$$

از جای‌گذاری a در معادله‌ی ۱ مقدار b به دست خواهد آمد.

$$b = \frac{5000 - 95 \times 54}{4} = -3/25 \quad \boxed{b = -3/25}$$

برای پیدا کردن مقدار c کافی است مقادیر به دست آمده برای a و b را در یکی از معادلات شماره‌ی ۱ یا شماره‌ی ۲ جایگزین کنیم. در این جا مقادیر b و a را در معادله‌ی ۱ قرار می‌دهیم، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} 2 \times 51/5 + 10 \times -3/25 + 89c &= 2500 & 89c &= 2500 - 70/5 \\ & & 89c &= 2429/5 \\ & & \boxed{c} &= 27/3 \end{aligned}$$

$$\boxed{a = 54}$$

$$\boxed{b = -3/25}$$

$$\boxed{c = 27/3}$$

$$\boxed{d = 22}$$

ملاحظه می‌شود که با انتخاب مقدار نامناسب سیلیس همدان جواب یکی از مجهول‌ها (( $b = -3/25$ )) منفی شد. نتیجه می‌شود جواب حاصل برای مجهول‌ها باید همواره مثبت باشد و در صورت منفی شدن جواب یک، دو و ... مجهول امکان ساخت بدنه مورد نظر به کمک مواد اولیه انتخاب شده وجود ندارد. جواب‌های به دست آمده برای a, b, c و d را در جدولی مشابه جدول (۶-۱۱) 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 غیر منطقی معادلات می شود را مشاهده می کنید.

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 ماده ی اولیه را بیابید.  
حل:

جدول آنالیز مینرالی مواد اولیه و بدنه را تشکیل می دهیم.

جدول ۱۲-۶- 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

همان گونه که در مثال های قبلی آموخته ایم، دستگاه معادلات را تشکیل می دهیم.

$$\begin{cases} 40a + 0 \times b + 0 \times c = 65 \times 100 & \Rightarrow 40a = 6500 \\ 10 \times a + 89 \times b + 0 \times c = 20 \times 100 \\ 50 \times a + 11b + 100c = 15 \times 100 \end{cases}$$

$$a = \frac{6500}{40} = 162.5$$

$$10 \times 162.5 + 89b = 2000 \Rightarrow 89b = 375$$

$$b = 4.2$$

$$50 \times 162.5 + 11 \times 4.2 + 100c = 1500$$

$$8125 + 46.2 + 100c = 1500$$

$$c = -66.7$$

ملاحظه می شود که مقدار a عددی بزرگ تر از ۱۰۰ و مقدار c منفی شده است که هر دو غیر منطقی هستند و این موضوع نشان می دهد بدنه ی چینی پخت و پز با مواد اولیه ی انتخابی نمی تواند ساخته شود.

۴-۶- 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  $100^{\circ}\text{C}$  طراحی شده‌اند.  
 حضور آب فیزیکی همراه مواد اولیه و عدم توجه به آن باعث بروز تغییرات در آنالیز مینرالی پس از  
 پخت خواهد شد.

همان‌طور که می‌دانید جهت ساخت هر بدنه و برای انواع مختلف شکل دادن سرامیک‌ها رطوبت‌های  
 متفاوتی نیاز داریم. به‌طور مثال جهت ساخت دوغاب حدود  $5^{\circ}$  تا  $35^{\circ}$  درصد آب (بدون روانساز) و بین  
 $25^{\circ}$  تا  $35^{\circ}$  درصد آب (همراه با روانساز) نیاز می‌باشد لذا تعیین و مشخص نمودن آب همراه یک ماده اولیه  
 می‌تواند تأثیر به‌سزایی روی میزان آب لازم برای ساخت دوغاب داشته باشد و بی‌توجهی به آن می‌تواند  
 علاوه بر به‌هم‌ریختن آنالیز مینرالی، رفتار جریان‌ی (رئولوژیکی) دوغاب را تحت‌الشعاع قرار دهد.  
 مثال ۷: در مثال ۱ با توجه به نتایج جدول (۶-۶)، رطوبت بر مبنای خشک زنوز نشسته،  
 رطوبت بر مبنای تریبال کلی ترکیه و فلدسپات بروجرد به ترتیب ۷ درصد، ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.  
 مقدار لازم هر ماده‌ی اولیه را با توجه به درصد رطوبت آن‌ها محاسبه نمایید.

$$\text{وزن خشک} - \text{وزن تر} = \frac{\text{وزن خشک}}{\text{وزن خشک}} \times 100 = \text{درصد رطوبت بر مبنای خشک}$$

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  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$   
 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 کاتولین زنوز نشسته ۷ درصد می‌باشد، این بدان معنی است که مازاد بر  $100^{\circ}$  قسمت زنوز نشسته‌ی  
 خشک، ۷ قسمت آب وجود دارد و مینرال‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن  $100^{\circ}$  قسمت می‌باشد. بنابراین  
 می‌توان مقدار رطوبت همراه با  $68/8$  قسمت زنوز نشسته خشک را با یک تناسب پیدا کرد.

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

$$x = \frac{7 \times 68 / 8}{100} = 4 / 8g \text{ قسمت زنوز نشسته خشک}$$

بنابراین مقدار زنوز نشسته‌ی مرطوب برای تأمین ۶۸/۸ قسمت زنوز نشسته خشک  $68/8 + 4/8 = 73/6$  به دست 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 بال کلی ترکیه خشک با ۵٪ رطوبت بر

مبنای تر انجام می‌شود:

$$\text{وزن خشک} - \text{وزن تر} = \frac{\text{درصد رطوبت بر مبنای تر}}{100} \times \text{وزن تر}$$

ماده خشک موجود در ۱۰۰ قسمت بال کلی ترکیه مرطوب:  $100 - 5 = 95$

قسمت ماده خشک      قسمت بال کلی مرطوب

$$95 \qquad 100$$

$$15 \qquad x$$

$$x = \frac{15 \times 100}{95} = 15 / 8g \text{ قسمت}$$

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

برای محاسبه‌ی مقدار مرطوب فلدسیات بروجرد، همانند بال کلی 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 به دست آورید:

$$\text{درصد رطوبت بر مبنای خشک} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک}} \times 100$$

$$M_d \% = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \qquad M_d: \text{درصد رطوبت}^1 \text{ بر پایه خشک}$$

وزن تر<sup>۱</sup> به گرم:  $W_w$

وزن خشک<sup>۲</sup> به گرم:  $W_d$

۱- Moistare

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

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



$$M_d \cdot W_d = (W_w - W_d) \times 100 = 100 \cdot W_w - 100 \cdot W_d$$

$$M_d \cdot W_d = 100 \cdot W_w - 100 \cdot W_d \Rightarrow W_w = \frac{M_d \cdot W_d + 100 \cdot W_d}{100}$$

با استفاده از فرمول حاصله مثال را حل می‌کنیم:

$$M_d \% = 7 \quad W_d = 68/8 \quad W_w = ?$$

$$W_w = \frac{7 \times 68/8 + 100 \times 68/8}{100} = 73/6g \text{ قسمت}$$

### تمرین

- ۱- برای ساخت یک صد 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، ۴ درصد و درصد رطوبت بر پایه خشک ماده اولیه C، ۳ درصد است، مقدار مورد نیاز از هر یک از مواد اولیه را تعیین کنید.
- ۲- 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 ۱۳-۶

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

۳- با داشتن فرمول درصد رطوبت بر مبنای تر:

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

ب - مقدار بال کلی مرطوب ترکیه و فلدسپات بروجرد مرطوب (جدول ۱۳-۶) را با استفاده از فرمولی که یافته‌اید، با در نظر گرفتن درصد رطوبت بر مبنای تر ۵٪ برای هر دو ماده اولیه بیابید.

۴- آنالیز مینرالی مواد اولیه A، B و C در جدول (۶-۱۴) آمده است. آنالیز مینرالی خلاصه شده‌ی مواد اولیه را مشخص نمایید (ستون‌ها با توجه به خواص مشابه مینرال‌ها به سه ستون K + M، F و Q خلاصه شود).

جدول ۶-۱۴

ماده اولیه	کائولین + میکا	فلدسپات	کوارتز	کلسیم کربنات	مواد آلی	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	جمع
A	۵ + ۲۸	۱۲	۴۰	۴	۹	۱	۱	۱۰۰
B	-	۸۳	۱۵	۱/۷	-	۰/۱	۰/۲	۱۰۰
C	۱۴	۴۵	۳۵/۵	۲	-	۱/۵	۲	۱۰۰

۵- 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 ۶-۱۵

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

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

جدول ۶-۱۶

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

جدول ۱۷-۶

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

۷- با استفاده از جدول ۱۷-۶ 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)