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	[1] L.O.I
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