

## "به نام ایزد منان"

عنوان مقاله: راهکارهای جدید برای حذف منابع خطا در اندازه گیری اکسید آلومینیوم در صنعت سیمان

تهیه کننده: فاطمه احمدی پری مسئول آزمایشگاه شیمی

شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان

### ۱- مقدمه

از عمده ترین مشکلات آزمایشگاه های شیمی کارخانجات سیمان در ایران حتی خارج از کشور اندازه گیری  $Al_2O_3$  در مواد خام و انواع سیمان می باشد که مقدار آن تاثیر بسزایی در تنظیم مواد و به تبع آن سیمان بدست آمده دارد.

با انجام آزمایشهایی در آزمایشگاه های صنعت سیمان که دارای استاندارد ۱۷۰۲۵ بوده و از کارشناسان شیمی با دقت بالا بهره برده (عدم بروز خطای انسانی) باز هم در بیشتر موارد مشاهده گردید که نوسانات در گزارش میزان درصد اکسید آلومینیوم بیشتر از سایر عناصر می باشد.

نمی توان در مورد اینکه کدام نتیجه صحیح می باشد، اظهار نظر کرد. زیرا تنها مرجعی که میتواند در مورد صحت و دقت نتایج PT<sup>۱</sup> (کفایت تخصصی) اظهار نظر کند الزاما خود باید از طرف ILAC<sup>۲</sup> (سازمان بین المللی همکاری های بین آزمایشگاهی) مورد تایید باشد.

فقط از لحاظ آماری و از روی نمودار های رسم شده می توان نشان داد، که پراکندگی نتایج در اکسید آلومینیوم بیشتر از بقیه بوده و علل و منابع خطا در اندازه گیری را بررسی نمود.

<sup>۱</sup> - Proficiency-Test

<sup>۲</sup> - Internaional Laborayory Accreditation Co-Operation

## ۲- بررسی آماری نتایج آزمایشات

در جدول شماره ۱ نتایج آزمون مقایسه ای تاریخ ۸۹/۶/۲۹ سیمان تیپ ۲ فرستاده شده از انجمن صنفی سیمان به کارخانه ها و مراکز تحقیقاتی آورده شده است. بر اساس این جدول و گزارش انجمن صنفی صنعت سیمان نمودار شماره ۱ نیز طراحی گردیده است. همانطور که در این نمودار مشخص می باشد:

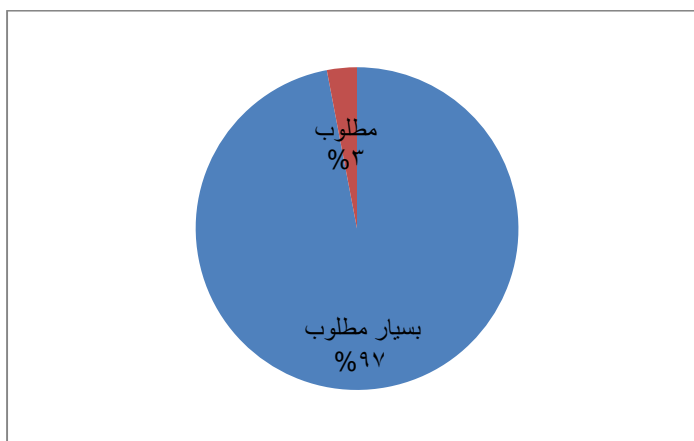
- $\text{SiO}_2$  ۹۷٪ بسیار مطلوب و ۳٪ مطلوب
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ۹۱٪ بسیار مطلوب و ۹٪ مطلوب
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  ۸۵٪ بسیارمطلوب و ۱۵٪ مطلوب

با توجه به این اعداد می توان اظهار نظر نمود که درصد خطا در اندازه گیری اکسید آلومینیوم نسبت به اکسید های اصلی دیگر که در تنظیم مدوله های مواد مؤثر می باشند، بیشتر می باشد .

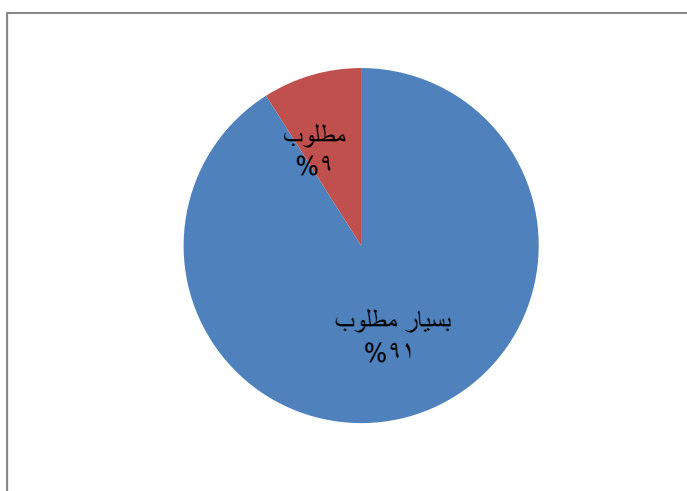
در همین راستا یک نمونه مارل نیز برای اندازه گیری و مقایسه اکسید آلومینیوم به دو شرکت معتبر Fls و Vdz ارسال گردید که نتایج آن در جدول شماره ۲ ارایه گردیده است.

جدول ۱- نتایج آزمون مقایسه‌ای سیمان نوع ۲ توسط کارخانه‌های سیمان و مراکز تحقیقاتی (آزمون شیمیایی ۸۹/۶/۲۹)

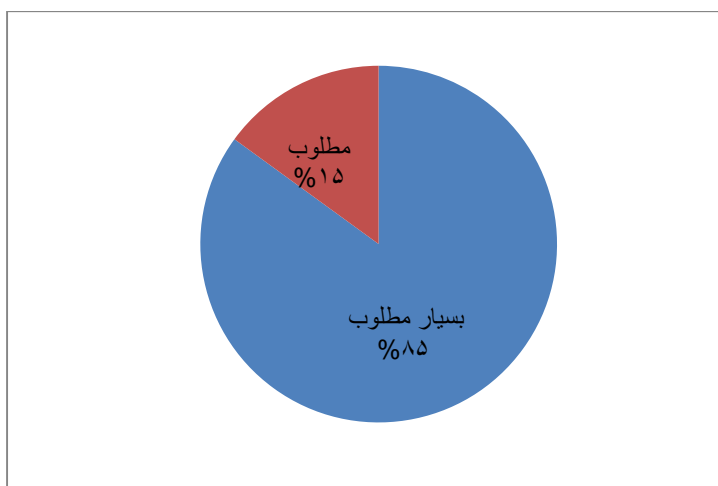
نام آزمایشگاه	کسر وزن	نامحلول در اسید	اکسید سیلیسیم	اکسید آلومینیوم	اکسید آهن	اکسید کلسیم	اکسید منیزیم	انیدرید سولفوریک
Rd ۱	۱/۵۶	۰/۴۴	۲۰/۰۸	۵/۰۰	۳/۷۱	۶۳/۲۴	۳/۱۳	۱/۹۴
Rd ۲	۱/۲۹	۰/۴۶	۲۰/۳۵	۴/۴۳	۳/۸۳	۶۴/۰۲	۳/۰۵	۱/۹۶
Rd ۵	۱/۵۰	۱/۰۷	۲۰/۱۷	۵/۳۵	۳/۷۷	۶۲/۸۸	۳/۵۳	۱/۴۹
Rd ۷	۱/۵۸	۰/۴۴	۱۹/۶۱	۴/۹۹	۳/۸۰	۶۳/۷۸	۳/۲۵	۱/۵۹
Rd ۸	۱/۶۲	۰/۴۸	۲۰/۰۵	۴/۸۲	۳/۸۴	۶۳/۴۲	۴/۰۰	۱/۷۸
Rd ۱۰	۱/۴۷	—	۲۰/۲۴	۲/۹۴	۳/۸۰	۶۳/۳۹	۴/۲۰	۱/۹۲
Rd ۱۱	۱/۰۴	۰/۵۴	۲۰/۰۶	۵/۰۸	۳/۶۲	۶۳/۰۰	۳/۰۰	۱/۸۲
Rd ۱۲	۱/۹۰	۰/۵۰	۲۰/۰۸	۵/۴۲	۳/۸۴	۶۲/۵۰	۳/۶۳	۱/۸۴
Rd ۱۳	۱/۶۲	۰/۶۵	۲۰/۱۸	۴/۹۶	۳/۸۴	۶۴/۲۹	۲/۵۶	۱/۷۹
Rd ۱۴	۱/۶۷	۰/۷۱	۲۰/۲۰	۵/۰۴	۳/۷۶	۶۲/۹۴	۳/۲۰	۱/۷۹
Rd ۱۵	۱/۵۳	۰/۶۳	۲۰/۰۸	۵/۰۰	۳/۸۴	۶۳/۶۰	۳/۲۴	۱/۷۰
Rd ۱۶	۱/۶۰	۰/۴۶	۲۰/۶۲	۴/۵۰	۳/۶۰	۶۴/۵۰	۱/۶۱	۱/۸۳
Rd ۱۷	۱/۹۷	۰/۴۰	۲۰/۴۲	۵/۰۸	۳/۶۸	۶۳/۲۰	۳/۶۶	۱/۶۸
Rd ۱۸	۱/۶۶	۰/۸۶	۲۰/۱۹	۵/۳۳	۳/۵۲	۶۲/۶۳	۳/۶۳	۱/۷۸
Rd ۲۰	۱/۴۰	۰/۵۲	۲۰/۲۶	۵/۱۰	۳/۷۲	۶۳/۷۴	۳/۷۵	۱/۷۶
Rd ۲۱	۱/۴۱	—	۲۰/۳۵	۴/۷۰	۳/۶۸	۶۵/۰۰	۱/۶۰	۱/۷۹
Rd ۲۲	—	—	۲۰/۴۲	۴/۸۱	۳/۶۵	۶۳/۰۱	۲/۳۰	۱/۸۵
Rd ۲۵	۱/۵۵	۰/۴۷	۲۰/۲۰	۴/۸۴	۳/۸۳	۶۳/۴۹	۳/۳۸	۲/۰۴
Rd ۲۶	۱/۴۷	۰/۴۸	۲۰/۲۲	۴/۸۴	۴/۸۴	۶۳/۰۵	۲/۵۰	۱/۸۴
Rd ۲۹	۱/۵۵	۰/۵۱	۲۰/۲۶	۴/۸۲	۳/۷۲	۶۳/۴۹	۳/۶۰	۱/۸۵
Rd ۳۰	۰/۶۵	۰/۳۱	۲۰/۲۲	۴/۸۵	۳/۷۷	۶۴/۴۲	۳/۰۲	۱/۹۱
Rd ۳۲	۱/۴۰	۰/۷۱	۲۰/۵۴	۴/۴۸	۳/۸۲	۶۴/۲۵	۲/۴۷	۱/۹۵
Rd ۳۵	۱/۵۷	۰/۵۳	۲۰/۴۵	۴/۷۲	۳/۷۹	۶۲/۹۴	۳/۵۱	۱/۷۲
Rd ۳۷	۱/۵۶	۰/۴۸	۲۰/۲۲	۴/۶۶	۳/۸۲	۶۳/۶۸	۳/۷۳	۱/۸۰
Rd ۳۹	۱/۵۸	۰/۲۹	۲۰/۰۸	۴/۷۷	۳/۶۹	۶۳/۴۰	۳/۵۳	۲/۰۳
Rd ۴۱	۱/۶۱	۰/۴۴	۲۰/۳۸	۴/۷۸	۳/۷۲	۶۳/۷۵	۲/۸۴	۱/۸۲
Rd ۴۲	۱/۵۶	۰/۵۴	۲۰/۰۰	۴/۹۶	۳/۶۸	۶۳/۲۲	۳/۴۷	۲/۰۰
Rd ۴۳	۱/۷۳	۰/۴۸	۲۰/۰۶	۴/۶۴	۴/۰۰	۶۳/۵۲	۳/۷۰	۱/۸۰
Rd ۴۴	۱/۶۰	—	۲۰/۰۵	۴/۹۳	۳/۸۱	۶۳/۴۲	۳/۹۹	۱/۹۸
Rd ۴۷	۱/۵۳	۰/۴۵	۲۰/۱۲	۴/۳۶	۳/۸۰	۶۳/۰۸	۳/۹۲	۱/۷۸
Rd ۴۹	۱/۴۸	۰/۶۵	۲۰/۱۸	۴/۷۸	۳/۸۳	۶۳/۶۸	۳/۵۶	۱/۸۰
Rd ۵۰	۱/۷۶	۰/۵۸	۲۰/۲۰	۴/۸۵	۳/۷۰	۶۳/۴۰	۳/۰۰	۱/۶۸
Rd ۵۴	۱/۵۴	۰/۵۸	۲۰/۵۶	۴/۷۴	۳/۸۴	۶۳/۸۶	۳/۷۵	۲/۸۸
Rd...	۱/۵۹	۰/۳۹	۲۰/۱۹	۴/۸۰	۳/۸۹	۶۳/۵۱	۳/۱۷	۱/۸۲



**SiO<sub>2</sub>**



**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**



**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

نمودار شماره ۱: نتایج آنالیز شیمیایی کارخانجات سیمان

جدول شماره ۲ - آنالیز یک نمونه مارل توسط دو شرکت خارجی

آنالیز Vdz	آنالیز Fls	نمونه مارل
۹.۳۵	۱۰.۵۷	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

خطای انجام شده در این دو آنالیز به فرض درست بودن یکی از نتایج ۱۱.۵۴٪ می باشد این در حالی است که طبق دستورالعمل استاندارد مجاز به ۱.۸۹٪ خطا در نتایج می باشیم. (تفاوت بین نتایج دوتایی ۰.۲ می باشد)

دراین رابطه مقالات و پروژه هایی در داخل و خارج از کشور ارائه شده که در اینجا اشاره ای به آنها می کنیم :

- Direction spectrophotometric determination of Aluminium oxide in Portland cement and cement clinker  
مجله آنالیز سال ۲۰۰۰ شماره ۱۲۵

- تعیین منابع خطا در آنالیز شیمیایی: مهندس حمیدرضا تاجیک (سیمان آبیک)
- ضرورت بازنگری آزمون های شیمیایی در استاندارد ملی ایران : مهندس حمیدرضا تاجیک، (سیمان آبیک)

### ۳- روش های انجام آزمون اکسید آلومینیوم

(۱) ASTM C-۱۱۴  $\approx$  ISIRI ۱۶۹۲  $\Leftarrow$  این عنصر را به صورت گراویمتری (رسوبی) اندازه گیری می کند .

(۲) EN ۱۹۶-۲  $\Leftarrow$  این عنصر را با روش تیتراسیون اندازه گیری می کند .

(۳) روش دستگاهی: Icp ، Atomic  $\Leftarrow$  برای مقادیر جزئی

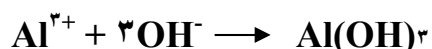
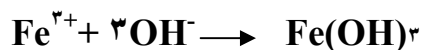
(۴) ASTM: STP ۹۸۵ Rapid Methods for Chmical Analysis of Hydraulic Cement

در کشور ما اکثر کارخانه ها و یا تقریبا همه کارخانجات سیمان،  $Al_2O_3$  را طبق بند ۱ (ISIRI ۱۶۹۲) اندازه گیری می کنند که دارای مشکلات عدیده ای می باشد که به آنها اشاره خواهیم کرد.

### ۳-۱- نحوه انجام آزمون طبق استاندارد ASTM C-۱۱۴ ، ISIRI ۱۶۹۲

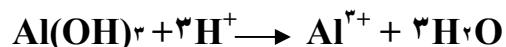
در این استاندارد (گروه  $R_2O_3$ ) را بوسیله محلول آمونیاک در حضور کلرور آمونیم ( $NH_4CL$ ) بصورت  $Al(OH)_3$  و  $Fe(OH)_3$  رسوب می دهند. رسوب ژلاتینی بدست آمده را شستشو داده و سپس مشتعل می کنند تا به اکسیدهای  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$  تبدیل شوند. سپس اکسیدهای  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$  را توزین می کنند.

برای اینکار، محلول زیر صافی سیلیس را تا نقطه جوش حرارت داده و در حضور معرف متیل رد آمونیاک اضافه می کنند تا رنگ محلول از قرمز به زرد تغییر یابد. این تغییر رنگ بخاطر تغییر محیط از حالت اسیدی به حالت قلیایی می باشد.





آلومینیوم هیدروکسید دارای خاصیت آمفوتری است:



• منابع خطا در اندازه گیری طبق استاندارد ASTM C-114 , ISIRI ۱۶۹۲

(۱) تشکیل رسوب شدیداً متأثر از PH می باشد. کنترل PH در زمان رسوب گیری بسیار حائز اهمیت است. در آزمایشاتی که در PH های مختلف در حین رسوب گیری  $\text{R}_2\text{O}_3$  بر روی نمونه مرجع انجام گرفت اثبات شد که تشکیل رسوب تقریباً در  $\text{PH}=4$  آغاز می شود و موقعی تکمیل می گردد که PH بین ۶.۵ تا ۷.۵ قرار می گیرد در نتیجه PH بکار رفته برای تشکیل رسوب باید بطور وضوح کنترل شود و این کار بسیار مشکل است.

زیرا:

- محدودیت زمان داریم زیرا سرعت رسوبگیری خود یکی از منابع خطا میباشد که در ادامه به آن اشاره می شود.

- محلول در حال جوش، اندازه گیری PH به وسیله PH متر ( الکتروود) بسیار سخت است.

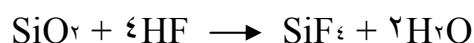
(۲) سرعت رسوب گیری باید زیاد باشد، زیرا در غیر اینصورت بدلیل قلیائیت محیط،  $\text{CO}_2$  هوا جذب و با یون  $\text{Ca}^{2+}$  موجود در محلول تولید  $\text{CaCO}_3$  می کند که بر روی رسوب  $\text{R}_2\text{O}_3$  اثر می گذارد. اگر چنین اتفاقی بیافتد لازم است دوباره محیط را اسیدی کرده تا  $\text{CaCO}_3$  در اسید حل گردد و سپس در محیط قلیایی رسوب گیری را تکرار کرد. همچنین آمونیاک بکار رفته نیز باید عاری از  $\text{CO}_2$  باشد.

۳) رسوب را باید آنقدر شستشو داد تا عاری از یون کلر گردد و کلرور آمونیم موجود کاملاً خارج گردیده، زیرا هنگام سوزاندن رسوب، کلرید آهن  $(FeCl_3)_{III}$  فرار تشکیل می شود.



۴) سوزاندن کاغذ صافی باید در شرایط اکسید کننده خوب تحقق یابد، زیرا در غیر اینصورت احیاء جزئی رسوب  $Fe_2O_3$  می دهد یا حتی آهن فلزی تولید می شود. اکسید مغناطیسی یا آهن فلزی فقط با گرم کردن مداوم همراه با جریان هوای آزاد، به  $Fe_2O_3$  تبدیل می شود. از احیا رسوب می توان به وسیله سوزاندن کامل کربن در گرماهای پایین با حفظ جریان هوای آزاد در تمام مدت پیشگیری کرد.

۵) وجود مقداری  $R_2O_3$  در سیلیس که برای جدا نمودن آن از اسید فلوئوریدریک باید استفاده کرد.



سیلیس موجود در نمونه با اسید فلوئوریدریک ایجاد تترافلوئورید سیلیسیم ( $SiF_4$ ) می کند که بصورت بخار خارج می شود که انجام این آزمون نیاز به صرف وقت زیادی دارد همچنین درصد خلوص HF به کار رفته باید ۴۸٪ و عاری از ناخالصی باشد.

۶) عدم اندازه گیری مستقیم  $Al_2O_3$ : تمام خطاهای انجام شده در مراحل قبل از اندازه گیری  $Al_2O_3$  بر روی این عنصر اثر گذاشته و باعث تغییر نتیجه می شود. در روش هایی مانند اندازه گیری  $Fe_2O_3$  به دلیل اینکه مستقیماً این عنصر اندازه گیری می شود خطا بسیار کم است. (عدم وجود خطای زنجیری)

۷) اندازه گیری  $Al_2O_3$  در مقادیری کم با روش گراویمتری به دلیل وزن رسوب کم تکرار پذیری خوبی نداشته مخصوصاً در مواد خام نظیر آهک.

۸) وجود آلومینیوم محلول که در رسوب ژلاتینی وجود ندارد و از کاغذ صافی عبور می کند.

و .....

حال به فرض از بین بردن تمام منابع خطا در اندازه گیری  $Al_2O_3$  و انجام آزمایش در شرایط کاملاً استاندارد و با دقت ۱۰۰٪ مسأله اصلی که محور بحث ما می باشد رسوب  $R_2O_3$  است که شامل اکسیدهای عناصر دو ظرفیتی و سه ظرفیتی آلومینیوم، آهن، تیتان، کروم، فسفر، منگنز و... بوده که در آزمایشگاه های صنعت سیمان به جز آلومینیوم و آهن بقیه عناصر را ناچیز در نظر گرفته و در محاسبات منظور نمی کنند.

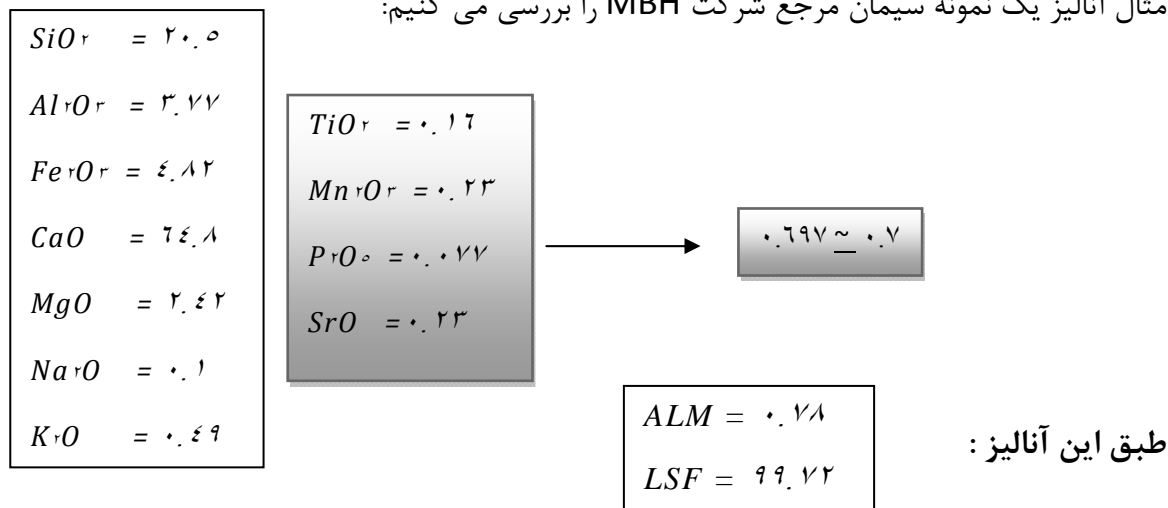
$$Al_2O_3 = R_2O_3 - Fe_2O_3$$

↓

Al – Fe – Ti – P – Mn – Cr ,...

این در حالی است که در بعضی از موارد مشاهده شده که مقدار این عناصر به چند دهم درصد هم رسیده و رسوب  $R_2O_3$  هم رسوبی داشته و توزین گردیده.

برای مثال آنالیز یک نمونه سیمان مرجع شرکت MBH را بررسی می کنیم:



حال اگر این چهار عنصر فرعی وارد  $R_2O_3$  شوند مقدار  $Al_2O_3$  :

$$Al_2O_3 = 3.77 + \text{عناصر فرعی} \approx 4.5$$

$ALM = 0.93$   
 $LSF = 98.42$

می شود که در این صورت:

در نتیجه نشان داده می شود که خطا در اندازه گیری  $Al_2O_3$  تا چه مقدار بر روی فاز ها، مدول ها، فارمذاب LP و حتی گزارش اشتباه تیپ سیمان می شود.

البته روشهای اندازه گیری استاندارد برای عناصر فرعی موجود می باشد ، اما برای آزمایشگاهها مقدور نمی باشد که همه عناصر اصلی را آنالیز نموده و از رسوب  $R_2O_3$  کسر نمایند. پس بهتر است از روشی استفاده کرد که تنها عنصر آلومینیوم را اندازه گیری کند.

## راهکار

\*\* برای برطرف کردن این مشکل می توان از روش دستگاهی طیف بین جذب مولکولی با دستگاه اسپکتر و فتومتری استفاده کرد. که در این روش فقط عنصر مورد نظر در طول موج تعریف شده با کمپلکس های ساخته شده بدست می آید و خطاهای گفته شده حذف می شود.

### ۳-۲- طیف بینی جذب مولکولی

براساس اندازه گیری عبور (Transmission) با جذب (Absorption) محلول های موجود در سلول های شفاف با طول مسیر  $b\text{cm}$  استوار است. معمولاً غلظت (Concentration) یک آنالیت جاذب به طور خطی به جذب یا عبور با معادله زیر ارتباط داده می شود:

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} = \epsilon bc$$

$A = \epsilon bc$

این معادله نمایشی ریاضی از قانون بیر لامبرت است.

**قانون بیر لامبرت:** شدت نور (اشعه الکترومغناطیسی) جذب شده متناسب با غلظت ماده سل (مسیری که نور می پیماید) دارد.

$$\epsilon = \text{ضریب جذب مولی ضخامت سل}$$

$$b = \text{طول مسیر عبور اشعه الکترومغناطیسی}$$

$$c = \frac{\text{غلظت mol}}{\text{lit}} \quad \#lit$$

### ۳-۲-۱- تعریف اسپکتروفتومتر

اسپکتروفتومتری یک روش تجزیه دستگاهی که در آن تابش الکترومغناطیس در ناحیه مرئی و ماوراء بنفش جذب ماده می شود و از روی شدت جذب مقدار ماده تعیین می شود.

### ۳-۲-۲- طرز تهیه غلظت یک ماده توسط اسپکتروفتومتر

۱- تهیه محلول بلانک ( یا محلولی که دارای تمامی گونه ها به غیر از گونه مورد نظر است)

۲- تهیه نمونه های استاندارد از گونه مورد نظر با غلظت های مشخص

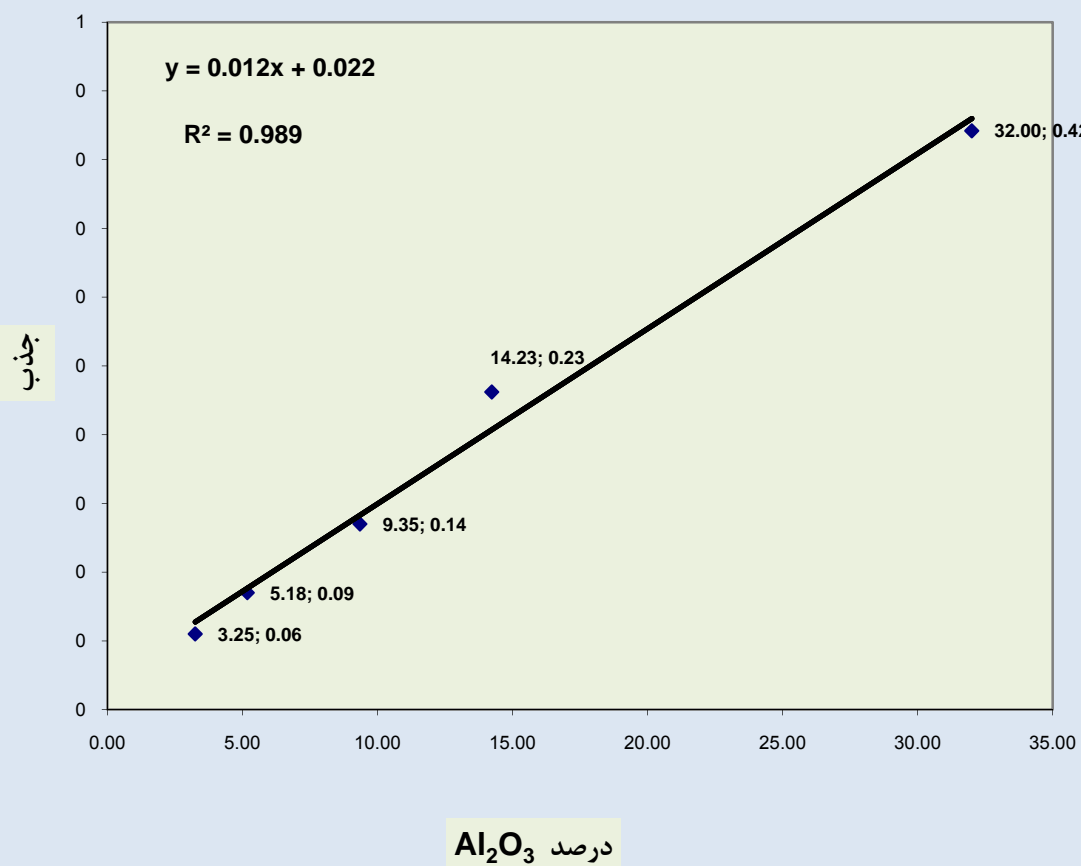
۳- قرائت جذب محلول های استاندارد

۴- رسم جذب بر حسب غلظت های استاندارد و بدست آوردن نمودار کالیبراسیون

مثال: نمودار کالیبراسیون بر روی پنج نمونه مرجع برای دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible در آزمایشگاه شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان

درصد $Al_2O_3$	جذب nm ۴۹۴
32	1420.
14.23	0.234
9.35	0.142
5.18	0.093
3.25	0.061

نمودار کالیبراسیون برای پنج نمونه مرجع



نمودار شماره ۲: منحنی کالیبراسیون

۵- اندازه گیری جذب محلول مجهول و بدست آوردن غلظت مجهول از روی نمودار

### ۳-۲-۳ - مزایای آنالیز با روش دستگاهی ( اسپکتروفتومتری )

- ۱- دقت و صحت بالا
- ۲- امکان آنالیز تعداد زیادی نمونه به طور همزمان ( اندازه گیری در فاصله زمانی بسیار کوتاه )
- ۳- توانایی اندازه گیری عناصر با مقادیری بسیار جزئی در حد ppm
- ۴- انجام آزمایش با هزینه کمتر
- ۵- کاهش مصرف مواد شیمیایی و کاغذ صافی و عدم استفاده از بوته پلاتینی
- ۶- قابلیت اطمینان و اعتماد بالا
- ۷- همخوانی نتایج آزمون یا قابلیت ردیابی (Trace Ability) با نتایج نمونه های مرجع بین المللی (CRM و RM) به دلیل انجام کالیبراسیون با نمونه های مرجع.
- ۸- قابلیت اندازه گیری عناصر فرعی مانند  $MnO$  ,  $P_2O_5$  ,  $TiO_2$  که در صنعت سیمان حائز اهمیت می باشند.

### ۳-۲-۴ - معایب

- ۱- کالیبره کردن صحیح دستگاه و نیاز به نمونه های مرجع
- ۲- استفاده از مواد سمی و خطرناکی چون اسیدتیو گلیکولیک و فری سیانور پتاسیم  $[Fe(CN)_6]^{4-} K_2$
- ۳- نیاز به مواد خالص به ویژه آلیزارین Red-S که در شرایط کنونی تهیه ماده با مشکلات عدیده همراه است.
- ۴- نیاز به محلول سازی زیاد و ظروف حجمی با دقت بالا به دلیل استفاده از حجمهای کم از مواد
- ۵- همیشه باید محدوده درصد عناصر را دانسته و با توجه به آن از نمونه مجهول توزین نموده، یعنی اندازه گیری تابع مقدار توزین اولیه می باشد و درصد عناصر نمونه های استاندارد باید در محدوده درصد عناصر نمونه مجهول باشد.

## نتیجه گیری

در انتها با توجه به مطالب ارائه شده فوق ، می توان بیان نمود ، که با وجود مشکلات روش دستگاهی اسپکتروفتومتر نتایج مطلوبتری نسبت به روش جاری در آزمایشگاههای صنعت سیمان بر روی نمونه های مرجع حاصل شده است . که می تواند در صنعت سیمان راهگشای مشکلات کارشناسان و آزمایشگاهها باشد.

در پایان امید است این پروژه گامی مؤثر در جهت کسب دانش فنی و ارتقاء خواص کیفی محصولات

در صنعت سیمان کشور باشد.

#### ۴- منابع و مراجع:

- ۱- تحقیقات و نتایج بدست آمده در آزمایشگاه شیمی مرکز تحقیق و توسعه صنعت سیمان
- ۲- استاندارد ASTM C-۱۱۴ و ISIRI ۱۶۹۲
- ۳- استاندارد ASTM : STP ۹۸۵ Rapid Methods for Chmical Analysis of Hydraulic Cement
- ۴- دستور کار داخلی آزمایشگاه شیمی مرکز تحقیق و توسعه
- ۵- دستور کار آزمایشگاه شیمی دستگاهی سازمان زمین شناسی ایران