

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

آزمایشگاه مواد اولیه سرامیک

رشته سرامیک

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۵۰۵

۶۶۶	قصاعی، حسین
آ ۶۸۸/ق	آزمایشگاه مواد اولیه سرامیک/مؤلف: حسین قصاعی. - تهران: شرکت چاپ و نشر
۱۳۹۵	کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.
	۱۴۳ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۲۵۰۵)
	متون درسی رشته سرامیک، زمینه صنعت.
	برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
	وزارت آموزش و پرورش.
	۱. سرامیک - مصالح - آزمایشگاه‌ها. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. دفتر تألیف
	کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش. ب. عنوان.

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز :

پیشنهادها و نظرهای خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب های درسی
فنی و حرفه ای و کار دانش، ارسال فرمایند.

پیام نگار (ایمیل) tvoccd@medu.ir

وب گاه (وب سایت) www.tvoccd.medu.ir

محتوای این کتاب در کمیسیون تخصصی رشته سرامیک دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و
کار دانش تأیید شده و توسط مؤلف محترم مورد تجدید نظر کلی قرار گرفت.

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی

برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کار دانش

نام کتاب : آزمایشگاه مواد اولیه سرامیک - ۴۷۴/۲

مؤلف : حسین قصاعی

نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب سایت : www.chap.sch.ir

صفحه آرا و طراح جلد : امیر ریاحی

ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

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

چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ سوم ۱۳۹۵

کلیه حقوق مربوطه به تألیف، نشر و تجدید چاپ این اثر متعلق به سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی است.

حق چاپ محفوظ است.



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

امام خمینی «قدس سرّه الشّریف»

فهرست

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۴	فصل اول: بررسی میکروسکوپی مواد اولیه
۵	۱-۱- رنگ
۵	۱-۱-۱- رنگ حالت خام (رنگ ظاهری)
۹	۱-۲- رنگ بعد از پخت در دماهای مختلف از ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس
۱۰	۲-۱- سختی
۱۰	۱-۲-۱- سنجش سختی
۱۰	۲-۲-۱- مقایسه سختی
۱۲	۳-۱- تورق (رخ)
۱۲	۱-۳-۱- بررسی جهت تورق
۱۳	۴-۱- بررسی جذب آب به صورت ظاهری
۱۴	۵-۱- پلاستیسیته
۱۴	۱-۵-۱- بررسی ظاهری پلاستیسیته
۱۵	۶-۱- آزمون‌های ویژه مواد اولیه کربناتی
۱۶	۱-۶-۱- آزمون ایجاد گاز پس از تماس با HCl
۱۷	۲-۶-۱- بررسی اثر حرارت در ۷۰۰ و ۱۰۵۰ درجه سلسیوس
۲۰	۷-۱- بررسی تغییرات ظاهری در تماس با آب
۲۲	خودآزمایی
۲۳	فصل دوم: خواص گچ قالب‌سازی و روش‌های اندازه‌گیری آن‌ها
۲۴	۱-۲- نسبت گچ به آب
۲۶	۲-۲- سیالیت

۳۰	۳-۲- تعیین زمان گیرش اولیه، گیرش ثانویه و زمان بریدن
۳۳	۴-۲- تعیین نفوذ پذیری گچ
۳۸	۵-۲- تعیین استحکام گچ
۴۱	خودآزمایی
۴۲	فصل سوم: خواص فیزیکی مینرال های رسی و روش های اندازه گیری آنها
۴۳	۱-۳- نمونه برداری
۴۶	۲-۳- خواص فیزیکی حالت خام
۴۶	۱-۲-۳- رطوبت
۴۹	۲-۲-۳- پلاستیسیته
۴۹	۱-۲-۲-۳- روش ریکه (Rieke)
۵۴	۲-۲-۲-۳- روش آتبرگ
۵۹	۳-۲-۲-۳- روش ففرکورن
۶۳	۳-۲-۳- انقباض خام (خشک)
۶۸	۴-۲-۳- استحکام خمشی خام
۷۳	۵-۲-۳- روانسازی (دی فلوکولاسیون)
۸۶	۶-۲-۳- وزن مخصوص (وزن لیتر) دوغاب
۸۸	۷-۲-۳- پ - هاش (pH)
۹۱	۸-۲-۳- تیکسوتروپی
۹۲	۳-۳- خواص بعد از پخت
۹۲	۱-۳-۳- مواد فرار در 700°C و 1050°C
۹۶	۲-۳-۳- انقباض پخت و کل
۹۹	۳-۳-۳- استحکام خمشی پخت
۱۰۱	۴-۳-۳- % جذب آب

۱۰۵	۵-۳-۳- مقاومت پخت
۱۰۷	۶-۳-۳- دمای خمیری
۱۱۱	خودآزمایی
۱۱۲	فصل چهارم: آماده سازی مواد اولیه
۱۱۲	۱-۴- مواد اولیه پلاستیک
۱۱۳	۱-۱-۴- شستشوی کائولین
۱۱۴	۲-۱-۴- اندازه گیری خواص
۱۱۴	۱-۲-۱-۴- اندازه گیری دانه بندی < 63 میکرون
۱۲۴	۲-۲-۱-۴- اندازه گیری وزن مخصوص به کمک پیکنومتر
۱۲۷	۲-۴- مواد اولیه غیر پلاستیک
۱۲۷	۱-۲-۴- خرد و پودر کردن ماده اولیه سخت
۱۲۸	۲-۲-۴- اندازه گیری خواص
۱۲۸	۱-۲-۲-۴- دانه بندی به روش تر
۱۳۱	۲-۲-۲-۴- دانه بندی به روش خشک
۱۳۳	۳-۲-۲-۴- چگالی انباشتگی مانده های > 4 میلیمتر
۱۳۵	خودآزمایی
۱۳۶	مراجع و منابع
۱۳۸	ضمیمه

مقدمه

امروزه در زندگی روزمره و در سرویس‌دهی مستقیم و غیرمستقیم به سایر صنایع، سرامیک نقش مهمی داشته و جایی مهم برای خود یافته است. کیفیت محصولات سرامیکی بستگی به نوع و مرغوبیت مواد اولیه مصرفی دارد.

مواد اولیه مصرفی در صنایع سرامیک یا با درجه خلوص کافی برای استفاده در طبیعت یافت می‌شود و مستقیماً قابل استفاده است (سیلیس، فلدسپات، سنگ آهک و ...)، یا پس از انجام عملیاتی (فرآوری و تخلیص) ماده اولیه مصرف می‌شود (کائولین، فلدسپات و ...) و یا به صورت مصنوعی تهیه می‌شود. (سیلیسیم کاربید، سودا و ...).

در ایران معادن مواد اولیه فراوان با کیفیت و مرغوبیت مختلف موجود است که وظیفه ماست با بهره‌برداری صحیح بهترین استفاده را از این نعمتهای خدادادی ببریم، آنها را با بهره‌برداری نادرست نابود ننموده و محیط زیست را توسط آنها آلوده نکنیم. اصولاً ذخایر جهانی برخی از مواد اولیه سرامیکی برای مثال کائولین کم است. پس باید در بهره‌گیری صحیح از این منابع نهایت دقت را به عمل آورد. در غیر این صورت، وابستگی نسبت به واردات این مواد اولیه که هم اکنون با آن مواجه هستیم، ادامه خواهد داشت.

در حال حاضر مؤسساتی وجود دارد که مواد اولیه خارجی را در ایران با ارائه بررسی‌های فیزیکی و شیمیایی که روی آنها انجام گرفته است، می‌فروشند. برخی موسسات مواد اولیه داخلی را به صورت طبیعی (کلوخه)، پودر (کوبیده شده)، تخلیص شده (شسته شده) و ... عرضه می‌کنند ثابت شده است که همراه این مواد اولیه، ندرتاً خصوصیات فیزیکی و یا شیمیایی ضمیمه است. به کارگیری مواد اولیه فاقد شناسنامه فیزیکی و شیمیایی در صنعت صرفاً بر پایه تجربه استوار است. اصولاً هنوز فرهنگ توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه در صنایع سرامیک ایران جای خود را باز نکرده است که دلیل آن نیز ضعف تخصص در این زمینه است. با تربیت متخصص، بینش تصمیم‌گیری بر اساس خواص مواد اولیه گسترش پیدا خواهد کرد که هدف مهمی است، زیرا در آن صورت یکنواختی در تولید و بهبود کیفیت تولیدات تضمین می‌شود.

در مجموع شناخت و بررسی خواص مواد اولیه بر پایه دانش ویژه‌ای استوار است. بررسی خواص یک‌سری روش‌های آزمون، دستگاه‌های ویژه آزمون و دانش مربوطه را می‌طلبد. متأسفانه تجهیزات آزمون و شناخت گران قیمت بوده و تشویق صنایع مربوطه به سرمایه‌گذاری در این زمینه مشکلات خاص خود را دارد که باید با تلاش آنها را به این سرمایه‌گذاری ترغیب کرد.

در این کتاب تلاش شده است با توجه به تنگ‌ناها، کمبودها، امکانات و توان فراگیری روش‌های شناخت و آزمون مواد اولیه به رشته تحریر درآورده شود، با این نیت که در سایه آن قدمی در زمینه اقتصادی استاندارد شدن، رونق صادرات و کم کردن مشکلات خط تولید برداشته شود.

اگر به مراجع منتشر شده داخلی و خارجی در زمینه آزمایشگاه مواد اولیه نظری داشته باشیم، متوجه خواهیم شد که کتب منتشر شده خیلی کم است، به ویژه در داخل کشور، این کمبود شدیدتر احساس می‌شود. مراکزی که در این زمینه در

داخل مشغول به فعالیت هستند نیز خیلی محدود بوده و از رشد چندانی برخوردار نیستند. پس شرایط ایجاب می کند که در این جهت بیشتر سرمایه گذاری انسانی و تاسیساتی شود. این مجموعه برای رفع این کمبود تدوین شده و هدف از آن بالا بردن بینش، دانش و شناخت این زمینه جوان و نوپا است. در خاتمه لازم میدانم از کلیه سازمان ها و افرادی که به نحوی در نگارش این مجموعه مرا همراهی کرده اند، صمیمانه قدردانی نمایم.

مؤلف

هدف کلی
تعیین خواص مواد اولیه سرامیک سنتی صنعتی

بررسی ماکروسکوپی مواد اولیه

- هدف‌های رفتاری - فراگیر پس از پایان این فصل قادر خواهد بود که:
 - خواص ماکروسکوپی مواد اولیه را نام ببرد.
 - طرز تشخیص مواد اولیه از طریق رنگ را تشریح کند.
 - مواد اولیه را در حالت خام به کمک رنگ تشخیص دهد.
 - رنگ بعد از پخت در دماهای ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس را مشاهده کند.
 - با کمک گرفتن از تورق پذیری (رخ) مواد اولیه را شناسایی کند.
 - با کمک سختی سنجی، سختی مواد اولیه را تعیین کند (به کمک چاقو و خط انداختن روی مواد اولیه). (به کمک روش موهس و استفاده از کانی‌های سخت‌تر).
 - پلاستیسیته مواد اولیه را به طور ظاهری تخمین زند.
 - با افزودن مقداری آب به مواد اولیه جذب آب آن‌ها را بررسی کند.
 - با افزودن مقداری HCl به آهک خام (سنگ آهک) تولید گاز را مشاهده کند.
 - ماده اولیه کربناتی را در ۷۰۰ و ۱۰۵۰ درجه سلسیوس اسیدزدایی (کلسینه) کند.
 - کربنات کلسیم را از مینرال رسی (کائولین) تشخیص دهد.
 - ماده اولیه کربناتی را توزین نموده و پس از حرارت دادن در دمای 1000°C با توزین مجدد تغییر وزن را مشخص کند.
 - آب روی ماده اولیه کربناتی کلسینه شده (اسیدزدایی شده) بریزد و تغییرات ظاهری آن را مشاهده کند.
 - گچ را از کائولین تشخیص دهد.

۱- بررسی ماکروسکوپی^۱ مواد اولیه

آنچه ظاهراً از ماده اولیه قابل دیدن و لمس کردن ماکروسکوپی است. حالت میکروسکوپی^۲ که بیشتر با آنچه ریز است سروکار دارد، به کار گرفته میشود. برای پی بردن به خواص میکروسکوپی به ابزار کمکی احتیاج است.

۱-Macro

۲-Micro

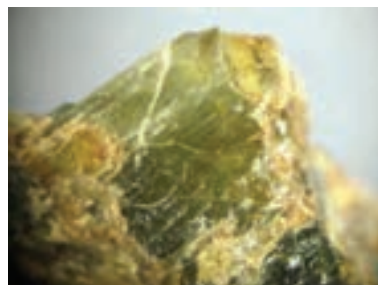
۱-۱- رنگ :

رنگ از خواص فیزیکی ماده اولیه است که با کمک آن می‌توان ماده اولیه را تشخیص داد. اما باید توجه داشت که رنگ به تنهایی نمی‌تواند عامل تشخیص درست باشد، لذا برای جلوگیری از اشتباه از سایر خواص نیز کمک گرفته می‌شود. برای مثال گل‌هایی در طبیعت وجود دارد که همگی دارای رنگ قرمز هستند ولی طرح و یا بوی آنها باعث می‌شود که از یکدیگر تمیز داده شوند و نام‌های مختلفی به آنان داده شود. پیریت (FeS_2) و طلا (Au) هر دو رنگ و جلای طلایی دارند ولی برای تشخیص آن دو از یکدیگر تنها رنگ کافی نیست بلکه برای تشخیص آن دو از یکدیگر بررسی خواص دیگر نیز لازم است.

۱-۱-۱- رنگ حالت خام: هرچند که یک ماده اولیه معمولاً حاوی کانی‌های (مینرال‌های) مختلف است ولی در بعضی از مواد اولیه مقدار یک کانی آنقدر زیاد است که ماده اولیه را به سمت کانی (مینرال) خاص سوق داده و میتوان آن را با نام همان کانی خواند در شکل ۱-۱ تصویر چند کانی که از سختی آن‌ها در مقیاس موهس نیز استفاده می‌شود، آمده است.



ژئپس



تالک



آپاتیت



فلورین



بلور کوارتز



ارتوکلاز



الماس



توپاز

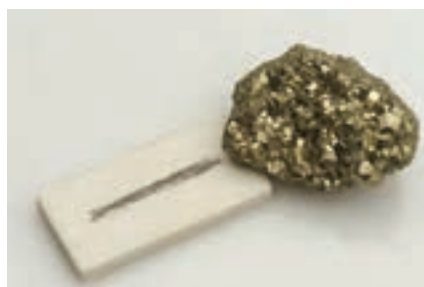
شکل ۱-۱ تصویر کانی های مختلف

در چنین حالتی می توان آن کانی را با توجه به رنگ خاکه (رنگ اثر) کانی تشخیص داد. برای این تشخیص معمولاً از بدنه چینی که فاقد لعاب باشد، استفاده می شود. طبیعی است که آن مجموعه از کانی ها (مینرال ها) در اینجا مطرح می شوند که سختی آنها از سختی بدنه چینی (۷ در مقیاس موهس) کمتر است. رنگ خاکه بیشتر برای تشخیص کانیهای فلزی به کار گرفته می شود.

در جدول ۱-۱ رنگ و رنگ خاکه (رنگ اثر) چند کانی (مینرال ها) و در شکل ۱-۲ تصویر کانی هائی به همراه خاکه اثر آمده است:

جدول ۱-۱: رنگ ظاهری و رنگ خاکه (رنگ اثر) برخی از کانی‌ها (مینرال‌ها) [۱]

نام کانی	رنگ ظاهری	رنگ خاکه (رنگ اثر)
تالک	سبز، سفید و خاکستری	سفید
ژیپس	سفید، صورتی و خاکستری	سفید
گرافیت	سیاه	سیاه
پیریت	زرد طلایی (برنجی)	سیاه مایل به سبز



پیریت (کانی و خاکه اثر)



گرافیت (کانی و خاکه اثر)

شکل ۱-۲: تصویر برخی از کانی‌ها و خاکه اثر آن‌ها

ضمن تشخیص رنگ ظاهری ماده اولیه توجه به آنچه به صورت پراکنده و معمولاً به مقدار کم در ماده اولیه موجود است، نیز ضروری خواهد بود. زیرا گاهی اوقات وجود آنها به دلایل مختلف ایجاد مزاحمت کرده و از مرغوبیت ماده اولیه می‌کاهد. آنچه باعث کاسته شدن از کیفیت ماده اولیه می‌شود. معمولاً در رشته سرامیک به عنوان ناخالصی مطرح است. ناخالصی‌ها در واقع کانی‌هایی (مینرال‌هایی) هستند که به دلیل داشتن اثر سوء روی رنگ بعد از پخت، تولید گاز در حین پخت و یا عوارض جانبی دیگر مطرح می‌باشند.

نمونه آزمایشی ابتدا با چشم غیرمسلح و سپس با کمک گرفتن از ذره‌بین روی رنگ و پراکندگی رنگ بررسی می‌شود. نکته قابل توجه دقت در وجود ذراتی است که در واقع ناخالصی بوده و همراه نمونه (نمونه آزمایشی) خام هستند، برای مثال لکه یا نقطه‌های رنگی (سیاه، قهوه‌ای جلادار و ...) در زمینه‌های سفید.

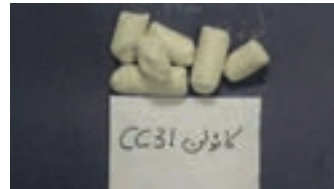
جدول ۱-۲ و شکل ۱-۳ چند ماده اولیه سرامیکی و رنگ آنها در حالت خام (رنگ ظاهری) را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲: رنگ خام (ظاهری) برخی از مواد اولیه خام سرامیکی

رنگ خام (رنگ ظاهری)	نام ماده اولیه
سفید، سفید متمایل به کرم	کائولین
سفید، خاکستری روشن، خاکستری تیره	بالکلی
سفید، صورتی، سبز، گوشتی و ...	فلدسپات



بالکلی سنبلند ۷۵



کائولین CC31



فلدسپات قره



فلدسپات نروژ

شکل ۱-۳ تصویر نمونه هایی از مواد اولیه مورد استفاده در صنایع سرامیک

روش عملی

وسایل لازم:

۱- ذره بین

۲- قطعه چینی بدون لعاب

۳- کائولین نشسته، کائولین شسته، بالکلی، سنگ گچ، فلدسپات، تالک.

آزمایش: ابتدا نمونه های نام برده شده در بالا را روی یک بدنه چینی بدون لعاب بکشید. چه رنگی مشاهده می کنید؟

نتایج حاصله را در جدولی مشابه جدول ۱-۳ یادداشت کنید.

جدول ۳-۱: جدول پیشنهادی برای ثبت رنگ ظاهری و رنگ خاکه (رنگ اثر) نمونه های آزمایشی

نام کانی	رنگ ظاهری	رنگه خاکه (رنگ اثر)

۱-۲- رنگ بعد از پخت: در محدوده دمایی مختلف از ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس رنگ بعضی از مواد بعد از پخت تغییر میکند.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- چراغ بونزن^۱

۲- کوره با توانایی گرم شدن تا دمای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس

۳- انبر بوته (کروزه)

۴- کائولین نشسته، کائولین شسته، بالکلی، سنگ گچ، فلدسپات

آزمایش: به کمک انبر بوته قطعه هایی از هر ماده اولیه (۱- کائولین نشسته ۲- کائولین شسته ۳- بالکلی ۴- سنگ گچ

۵- فلدسپات) را روی شعله چراغ بونزن بگیرید (نمونه باید به آرامی در شعله گرم شود. زیرا با سریع گرم شدن خطر متلاشی

شدن نمونه می رود) و تغییرات رنگ آنها را پس از سرد شدن مشاهده کرده و در جدولی یادداشت کنید:

آزمایش فوق را با قراردادن نمونه ها در کوره آزمایشگاهی و یا کوره کارگاهی تکرار کنید. لازم به یادآوری است که برای

جلوگیری از ذوب و یا متلاشی شدن احتمالی نمونه در اثر تجزیه و ایجاد گاز توسط برخی از مینرال ها در داخل کوره باید

پیشگیری های لازم انجام گیرد.

^۱ - Bunsen burner

۱-۲- سختی :

سختی عبارت از مقاومتی است که یک بلور (کریستال) در برابر اعمال یک نیروی مکانیکی از خود نشان می‌دهد. تفاوت در سختی مواد اولیه سرامیکی باعث شده که بتوان از آن برای تمیز دادن مواد اولیه از یکدیگر استفاده کرد. البته از این ویژگی در تشخیص کانی‌ها (مینرال‌ها) از یکدیگر نیز استفاده می‌شود.

۱-۲-۱- **سنجش سختی:** ساده‌ترین روش سنجش سختی سنجش مقاومت ماده مورد آزمون در برابر خراش است که عامل خراش دهنده می‌تواند در اینجا ناخن، چاقو و یا یک کانی باشد.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- چاقو، میخ، کلید

۲- ورق فلزی و شیشه پنجره به ابعاد تقریبی ۱۰ سانتیمتر × ۱۰ سانتیمتر.

۳- کلوخه کائولین نشسته، سنگ گچ، فلدسپات، سنگ آهک، تالک، کوارتز.

آزمایش: سعی کنید با استفاده از وسیله‌های فلزی و تیز (چاقو، میخ و ...) روی نمونه‌هایی از قبیل کلوخه کائولین نشسته، سنگ آهک، سنگ گچ، تالک، فلدسپات و کوارتز خط بیندازید.

این آزمون را می‌توانید با کشیدن مواد اولیه نام برده شده روی یک ورقه فلزی، همچنین روی یک قطعه شیشه پنجره تکرار کنید و شاهد اثرات آنها روی فلز و شیشه باشید.

۱-۲-۲- **مقایسه سختی:** مقایسه و اندازه‌گیری سختی به روش‌های گوناگون می‌تواند انجام گیرد. با استفاده از روشی که موهس (Mohs) پایه‌گذاری کرده است، ده کانی به عنوان شاخص سختی انتخاب شده‌اند. در جدول ۱-۴ کانی‌های ده‌گانه مورد استفاده در مقیاس موهس، شماره سختی و ابزار ساده‌ای که به کمک آنها می‌توان سختی را تقریباً تخمین زد، آمده است.

جدول ۱-۴: درجه سختی در مقیاس موهس، کانی معادل و وسایل ساده سنجش

وسیله ساده سنجش	کانی معادل	درجه سختی
چوب کبریت	تالک	۱
ناخن	ژیپس	۲
میخ فلزی	کلسیت	۳
	فلورین	۴
تیغه چاقو	آپاتیت	۵
سوهان فولادی، چینی سخت	فلدسپات	۶
	کوارتز	۷
	توپاز	۸
کاربوراندوم (SiC)	کوراندوم	۹
	الماس	۱۰

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- کانی‌های مقیاس موهس (قلم‌های مخصوص اندازه‌گیری در جعبه موهس)
 - ۲- نمونه‌هایی از مواد اولیه مجهول (ترجیحاً حاوی کانیهای نامشخص) برای مثال سنگ‌های موجود در طبیعت (به ویژه آنچه در بستر رودخانه‌های فصلی پراکنده است).
 - ۳- میخ فلزی، قطعه چینی سفره، قطعه شیشه پنجره و کوارتز
 - ۴- قطعه کامل یا قطعاتی از کاشی کف، دیواری و چینی سفره (نعلبکی، بشقاب، قوری) لعابدار
- آزمایش:** گوشه ماده اولیه (آزمونه) مجهول را به ترتیب روی چند کانی مقیاس موهس بکشید و سختی آن را مشخص کنید. مثلاً در مرحله آزمایش کانی کلسیت (درجه سختی ۳) مقیاس موهس توسط آزمونه خراش برمی‌دارد. در صورتی که فلورین با درجه سختی ۴ توسط آن خراش بر نمی‌دارد. پس نتیجه‌گیری می‌شود که آزمونه (نمونه مجهول) از درجه سختی ۴ و یا اندکی کمتر از ۴ برخوردار است. آزمایش را برای حداقل ۵ آزمونه تکرار کنید.
- سعی کنید با استفاده از کانی‌های مقیاس موهس سختی لعاب‌های چینی سفره، کاشی دیواری، کاشی کف و شیشه پنجره را مشخص نمایید.
- فکر می‌کنید لعاب (مینا) بخاری گازی یا اجاق گاز لعاب شده مورد استفاده در کلاس درس، منزل و آشپزخانه کدام سختی را دارد؟

با استفاده از میخ فلزی، سختی قسمت بدون لعاب بشقاب یا قوری چینی و کوارتز را بسنجید. امروزه ابزارهای سنجش سختی مدرن و دقیق (میکروسختی سنج) ساخته شده است که به کمک آن‌ها امکان اندازه‌گیری دقیق سختی فراهم است. در میکروسختی سنج به کمک اعمال نیرو به میله‌ای با نوک الماسی سختی سنجیده می‌شود. رویت و اندازه‌گیری میزان نفوذ الماس به آزمونه (نمونه با سختی مجهول) با استفاده از میکروسکوپ نوری صورت می‌گیرد. ابعاد محل اثر الماس و نیروی بکارگرفته شده اندازه‌گیری و نتایج ثبت می‌شوند. با استفاده از نتایج و فرمول تعریف شده برای محاسبه امکان تعیین مقدار سختی فراهم است.

چون دستگاه اندازه‌گیری میکروسختی گران است امکان استقرار آن در همه مقاطع تحصیلی فراهم نیست و معمولاً از آن برای پژوهش در مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌ها استفاده می‌شود.

۱-۳- تورق (رخ):

در اثر فشار و یا ضربه برخی از کانی‌ها در راستای سطوح مشخصی می‌شکنند که قطعات حاصله از یکدیگر جدا می‌شوند. این سطوح را سطوح رخ (کلیواژ) می‌نامند. کانی‌ها را براساس جهت رخ و زوایای مربوطه تقسیم‌بندی می‌کنند، که این خاصیت عامل تشخیص نوع کانی است.

۱-۳-۱- بررسی جهت تورق: جهت دار بودن رخ بین یک جهت تا شش جهت می‌تواند برای کانی‌های مختلف در تغییر باشد. مثلاً میکا از کانی‌هایی است که در یک جهت رخ دارد (شکل ۱-۴) و به این دلیل تورق در یک جهت و به موازات یک سطح اتفاق می‌افتد. در صورتی که ژیپس در سه جهت تورق داشته و جدا شدن آن در جهت‌های مختلف، متفاوت است.



شکل ۱-۴ میکای سیاه و میکای پتاسیک با تورق یک جهت

روش عملی

وسایل لازم: نمونه‌هایی از کلسیت، دولومیت، ژیپس، انواع فلدسپات، فلورین و میکا.

آزمایش: با فشار وارد کردن به کمک دست و یا زدن ضربه به کانی‌های فوق جهت تورق آنها را بررسی کنید.

۴-۱- بررسی جذب آب به صورت ظاهری :

مواد اولیه پلاستیک سرامیک در تماس با آب به شکل‌های مختلف در جذب آب عمل می‌کنند که این پدیده می‌تواند بینش‌های اولیه در رابطه با شناسایی ماده اولیه یا به عبارت دیگر عمده کانی‌های تشکیل دهنده آن را بدهد. لازم به یادآوری است که جذب آب توسط یک ماده اولیه یک پدیده فیزیکی بوده و ارتباطی با آب شیمیایی (آب تبلور) که در ساختمان کانی‌ها (مینرال‌ها) به شکل ثابت موجود است، ندارد.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- کلوخه‌های کوچک کائولین نشسته، کائولین شسته، بنتونیت، سنگ آهک و تالک (برای هر ماده اولیه یک کلوخه کافی است).

۲- لوله آزمایش به تعداد مواد اولیه موجود.

۳- آبفشان

۴- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

۵- خشک کن

۶- پارچه تمیز

آزمایش: ابتدا از آزمون‌ها که آن‌ها را قبلاً در دمای 5 ± 10.5 درجه سلسیوس خشک کرده و سپس آن‌ها را به دمای محیط خنک نموده اید، در اندازه تقریبی حبه قند و مشابه یکدیگر نمونه‌هایی تهیه کنید. نمونه‌ها را با دقت ۰,۱ گرم توزین و وزن آن‌ها را یادداشت نمایید. هر نمونه را در لوله آزمایشی قرار دهید. حال به کمک آبفشان به لوله آزمایش، آن مقدار آب اضافه کنید که تقریباً کل آزمون در آب قرار گیرد و حدود یک سانتیمتر آب بالاتر از سطح آزمون قرار گیرد. در لوله آزمایش به گونه‌ای که آب آن نتواند خارج شود، بسته می‌شود. بیست و چهار ساعت (می‌تواند در جلسه بعد انجام گیرد) به آزمون‌ها فرصت جذب آب داده می‌شود. بعد از خارج نمودن هر آزمون از لوله آزمایش سطح مرطوب آن را به کمک پارچه تمیز و مرطوب با احتیاط خشک کنید. آزمون را فوراً توزین و وزن جدید آن را ثبت نمایید. با مقایسه وزن خشک و وزن بعد از جذب آب آزمون‌ها متوجه خواهید شد کدام یک از آن‌ها تمایل بیشتری به جذب آب (فیزیکی) داشته است.

۱-۵- پلاستیسیته

پلاستیسیته عبارت است از خاصیتی که یک ماده اولیه سرامیکی زمانی دارا می‌باشد، که پس از تماس با آب و به حالت گل درآمدن با اعمال نیرو (مثلاً شکل دادن با دست گل) شکلی را به خود بگیرد و پس از برداشتن نیرو (قرار دادن گل شکل داده شده به گوشه‌ای) آن شکل را حفظ کند.

ساده‌ترین مثال فشار دادن به یک مشت گل ساخته شده از خاک معمولی است. شکلی که حاصل فشار مشت است، محفوظ می‌ماند. حتی پس از باز کردن مشت و تکان دادن قطعه، زیرا خاک معمولی خاصیت پلاستیسیته دارد.

حال اگر با فشار دادن به یک مشت ماسه بنایی شکلی ساخته شود، پس از باز کردن مشت در اثر کوچکترین ضربه‌ای قطعه کاملاً متلاشی می‌شود، زیرا ماسه بنایی پلاستیسیته ندارد.

پلاستیسیته در سرامیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تاکنون روش اندازه‌گیری دقیقی برای این خاصیت فیزیکی ابداع نشده است، زیرا فاکتورهای بسیاری روی آن مؤثرند و اندازه‌گیری همزمان این فاکتورها کار مشکلی است.

بعضی از این فاکتورها عبارتند از: دانه‌بندی، نوع مینرال‌های رسی، مقدار و نوع مینرال‌های غیررسی موجود در جوار مینرال‌های رسی، شکل مینرال‌های موجود در ماده اولیه، حضور و نوع کاتیون قرار گرفته در سطح ذرات رسی و....

۱-۵-۱- بررسی ظاهری پلاستیسیته: بررسی پلاستیسیته به کمک لمس کردن با دست هر چند اعداد و ارقامی برای

مقایسه مواد اولیه با یکدیگر را نمی‌دهد، ولی اطلاعات اولیه را در این رابطه ارائه می‌دهد.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- ۱۰۰ گرم پودر نرم و خشک از: کائولین شسته، کائولین نشسته، بالکلی، کوارتز، آهک خام

۲- آب شهر

۳- دو صفحه چوبی به ابعاد تقریبی ۷۰ میلی‌متر × ۷۰ میلی‌متر

۴- ترازو با دقت ۱ گرم

۵- تعداد کافی (به تعداد مواد اولیه آزمایشی) بشر یا کاسه پلاستیکی به حجم تقریبی ۳۰۰ میلی‌لیتر.

آزمایش

به مقدار تقریبی ۵۰ گرم پودر خشک از مواد اولیه را جدا از یکدیگر در بشر یا کاسه پلاستیکی جداگانه توزین کنید. برای هر نمونه به اندازه یک سوم وزنش آب شهر وزن کرده، به آن بیفزایید. پس از همزدن و همگن ساختن هر مخلوط آب و ماده اولیه حالات آن‌ها را به صورت جداگانه با یکدیگر مقایسه کنید. حال مجدداً دو برابر وزن آب قبلی آب توزین کرده و

به هر مخلوط آب و ماده اولیه اضافه کنید. پس از هم‌زدن و همگن ساختن مخلوط‌های آب و مواد اولیه، سنجش و مقایسه آن‌ها با یکدیگر را دوباره تکرار کنید.

اولاً ملاحظه کردید که مواد اولیه مختلف هر چند که مقدارشان برابر باشد، در برابر مقدار مساوی آب که به آنها افزوده می‌شود، مخلوط‌های مختلفی را می‌سازند که از نظر کارپذیری با یکدیگر اختلاف دارند. ثانیاً با افزودن آب همگی مواد اولیه آزمایشی به شرایط سهل تری از شکل‌پذیری می‌رسند.

به ۵۰ گرم باقی‌مانده مواد اولیه به طور جداگانه ۶۰ گرم آب افزوده و آنها را به ملات همگن تبدیل کنید (در صورتی که مخلوط دوغابی شد، آن را با کمک لوح گچی آب‌گیری کنید و اگر چنانچه برعکس، مقدار آب کم بود و حالت گل به خود نگرفت، به آن آب بیفزایید). از هر ملات آماده شده نمونه‌ای بردارید و پس از ورز دادن کافی در حالی که آن را به صورت تخت (به شکل دایره و به قطر تقریبی سه سانتیمتر) شکل می‌دهید، شرایط شکل‌پذیری آنها را بررسی و لمس کنید. توصیه بعدی ساختن نمونه‌های میله‌ای (فتیله) به قطر تقریبی یک سانتیمتر از خمیر نمونه‌های مختلف است. دو انتهای نمونه شکل داده شده را توسط انگشتان دست گرفته و سعی کنید آن را بکشید و به نحوه ترک خوردن آن توجه کنید. آزمون بعدی را روی گلوله‌هایی به قطر تقریبی پنج سانتیمتر از هر ملات، به این ترتیب انجام دهید:

با قرار دادن گلوله خمیری بین دو تخته کوچک و فشار دادن تخته‌ها، نحوه و زمان ظهور اولین ترک‌ها در سطح گلوله را بررسی کنید. ارتفاعی که در آن در اثر فشار اولین ترک‌ها ظاهر می‌شوند، معیاری برای سنجش نسبی پلاستیسیته است. هر چه ماده اولیه‌ای در اثر فشار و کاهش ارتفاع، بدون ترک بماند، آن ماده اولیه از پلاستیسیته بالاتری برخوردار است. بررسی روش‌های اندازه‌گیری پلاستیسیته که در آن از محاسبات و اعداد کمک گرفته می‌شود، در فصل سوم (بند ۲-۲-۳) این کتاب خواهد آمد.

۱-۶- آزمون‌های ویژه مواد اولیه کربناتی

کربنات‌ها را در طبیعت به شکل‌های مختلف می‌توان یافت. کربنات کلسیم فراوان‌ترین نوع کربنات است که به شکل سنگ آهک، سنگ مرمر، گل سفید، استالاکتیت، استلاگمیت و پوسته خیلی از آبزیان همانند صدف‌ها یافت می‌شود. مسلماً میدانید که مواد اولیه کربناتی دیگر نیز در طبیعت یافت می‌شوند که از آن جمله می‌توان از دولومیت (کربنات مضاعف کلسیم - منیزیم) منیزیت (کربنات منیزیم) و سودا (کربنات سدیم که منابع طبیعی آن محدود است) و مصارف صنعتی دارند، را نام برد. ناگفته نماند که در زندگی روزمره نیز با کربنات‌ها در تماس هستیم که در دسترس‌ترین نوع آن رسوبی است که در سماورها، کتری‌ها یا ظروفی که در آن‌ها آب جوشانده می‌شود، ظاهر می‌شود.

۱-۶-۱- آزمون ایجاد گاز پس از تماس با HCl:

کربنات‌ها در تماس با اسیدهایی از قبیل اسیدسولفوریک، کلریدریک و ... گاز CO_2 ایجاد می‌کنند. این واکنش کربنات‌ها در برابر اسیدها به ویژه HCl غلیظ روشی برای تشخیص سریع کربنات‌ها است. شدت واکنش کربنات‌های مختلف با این اسید متفاوت بوده که خود روشی برای تمیز دادن آنها از یکدیگر شده است. معمولاً مصرف کربنات‌ها در مقایسه با کائولین، فلدسپات و ... در صنایع سرامیک کمتر است. مواد اولیه نامبرده غیر از کربنات‌ها در برابر جوهر نمک (اسید کلریدریک) واکنشی از خود نشان نمی‌دهند. در صورتی که رنگی مشابه کربنات‌ها دارند و در تشخیص همراه کننده هستند. معمولاً به دلیل این تشابه و جلوگیری از صرف وقت بعدی برای بررسی کیفی و کمی کائولین نشسته، فلدسپات و سایر مواد اولیه پرمصرف سرامیکی از روش سریع تشخیص با اسیدکلریدریک غلیظ (یا افزودن یک قطره به کمک قطره چکان روی ماده اولیه مورد آزمون) بهره‌گیری می‌شود.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- بشرارلن با حجم تقریبی ۳۰۰ میلی‌لیتر

۲- پودر سنگ آهک ($<3mm$) تقریباً ۴ گرم

۳- پودر دولومیت ($<3mm$) تقریباً ۴ گرم

۴- کربنات سدیم (سبک یا سنگین) تقریباً ۵ گرم

۵- ۲۰۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک (تجارتی) $n/10$ (۱/۱۰ نرمال)

۶- معرف فنل فتالئین (اندیکاتور)

۷- ۱۰۰ میلی‌لیتر سود سوزآور (تجارتی) $n/10$ (۱/۱۰ نرمال)

۸- آب شهر

۹- بورت ۵۰ میلی‌لیتری یا بزرگ‌تر

۱۰- چراغ بونزن با سه پایه و توری آّبست

۱۱- ترازو با دقت ۱ گرم

آزمایش: این آزمایش برای هر ماده اولیه نام برده شده، به صورت جداگانه انجام می‌گیرد اما روش آزمون یکسان است. ابتدا مقدار تقریبی ۲ گرم از یک ماده اولیه (پودر سنگ آهک) را در بشر ارلن توزین نمائید. تقریباً ۱۰ میلی‌لیتر آب شهر و مقداری اسیدکلریدریک $n/10$ (۵۰ میلی‌لیتر) به ارلن افزوده میشود. پس از جوشانیدن به مدت پنج دقیقه، یک قطره فنل فتالئین به مایع افزوده می‌شود که آن را رنگی می‌کند. محلول رنگی را با سود سوزآور $n/10$ که در بورت آماده کرده‌اید

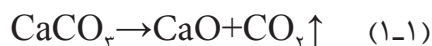
تا تغییر رنگ معرف فنل فتالین تیترا کرده و مقدار NaOH مصرفی را یادداشت کنید. این آزمون را برای دو ماده اولیه دیگر نیز تکرار کنید و به شدت واکنش با اسید کلریدریک توجه کرده و مقدار سود سوزآور مصرفی را مشخص و یادداشت نمایید.

تیترا کردن که از کلمه تیتراسیون گرفته شده است عبارت از خنثی نمودن اسید یک محلول اسیدی توسط یک باز یا برعکس (خنثی شدن باز محلول بازی توسط اسید) است. برای تشخیص زمان تغییر وضعیت (تبدیل محیط اسیدی به بازی یا محیط بازی به اسیدی) نیاز به اندیکاتور (معرف) است که در محیط اسیدی دارای یک رنگ مشخص است و در محیط بازی می تواند بر عکس به رنگ دیگری غیر از رنگ محیط اسیدی ظاهر گردد (مثال معرف تورنسل در محیط اسیدی قرمز رنگ و در محیط بازی آبی رنگ است). برای اندازه گیری مقدار باز مورد نیاز برای خنثی کردن اسید و یا باقیمانده اسید هنگام تبدیل محیط اسیدی به بازی از بورت که وسیله ای شیشه ای و مدرج است برای تیتراسیون استفاده می شود. در تیتراسیون با باز نمودن شیر بورت محلول خنثی کننده (اسید یا باز) شروع به خارج شدن می کند. محلول به ظرفی که در آن محلول برای خنثی شدن وجود دارد (اسید یا باز) افزوده می شود. پایان افزودن محلول زمانی است که تغییر رنگ اندیکاتور (معرف) افزوده شده به محلول صورت گیرد. به محض تغییر رنگ شیر بورت بسته می شود و مقدار محلول مصرف شده مشخص و یادداشت می گردد.

با استفاده از حجم محلول باز مصرف شده جهت خنثی نمودن اسید در واکنش با ماده اولیه کربناتی و با توجه به غلظت آن امکان دستیابی به مقدار محلول اسیدی که در واکنش شرکت نکرده است، وجود دارد.

در تیتراسیونی که در این آزمایش برای مواد اولیه کربناتی انجام می دهید با تعیین مقدار باز برای خنثی کردن مقدار اسید در واکنش شرکت نکرده امکان تعیین مقدار اسید در واکنش شرکت نموده را فراهم می نمائید. با کم کردن اسید باقیمانده (اندازه گیری شده با تیتراسیون به کمک NaOH) از کل اسید افزوده شده به ماده اولیه کربناتی مشخص می گردد چه مقدار اسید کلریدریک برای تجزیه کربنات مصرف شده است

۱-۶-۲- بررسی اثر حرارت در ۷۰۰ و ۱۰۵۰ درجه سلسیوس: در ارتباط با تجزیه کربنات ها به ویژه کربنات کلسیم که طبق واکنش (۱-۱)



در دمایی بالاتر از 900°C انجام می گیرد، دو عامل نقش اساسی دارند. یکی دمای پخت است که روی انجام کامل واکنش شدیداً مؤثر است و با افزایش آن تا 1200°C زمان تجزیه کامل کربنات کلسیم (واکنش ۱-۱) کاهش می یابد. مورد دیگر اندازه قطعه (کلوخه) کربنات کلسیم است که پخته می شود. با بزرگتر شدن کلوخه تجزیه کربنات مشکل تر و مشمول زمان طولانی تری میشود.

- مرحله اول

روش عملی

وسایل لازم:

۱- دسیکاتور

۲- سنگ آهک (۵ mm - ۱) تقریباً ۴۰ گرم

۳- سنگ دولومیت (۵ mm - ۱) تقریباً ۴۰ گرم

۴- چهار عدد بوته دیرگداز (شاموتی) دردار با حجم تقریبی ۱۰۰-۵۰ میلی لیتر

۵- کوره آزمایشگاهی (الکتریکی) 1100°C و انبر بوته متوسط

۶- صفحه نسوز شاموتی (در صورت موجود نبودن در کوره) و پودر آلومینا (امکان استفاده از پودر کائولین و یا پودر کوارتز مرغوب و خالص به جای پودر آلومینا وجود دارد).

آزمایش: در چهار بوته دیرگداز (شاموتی) به ترتیب پودر کربنات کلسیم (سنگ آهک) و پودر دولومیت را در دانه بندی پیشنهاد شده به صورت جداگانه اضافه کنید. (تقریباً در هر بوته حدود ۲۰ گرم).

در کوره‌ای خنک به دمای محیط که قبلاً در آن صفحه نسوز پوشانیده شده با پودر آلومینا قرار داده اید بوته های حاوی پودرها (۲ بوته کربنات کلسیم و ۲ بوته دولومیت) رامستقر کنید. با روشن کردن کوره و تنظیم گرم شدن آن با شیب ملایم پخت آزمونه‌ها شروع می‌شود. پس از رسیدن کوره به دمای $200 \pm 700^{\circ}\text{C}$ با باز کردن در کوره با احتیاط و به کمک انبر بوته دو عدد از بوته‌ها (یک بوته حاوی کربنات کلسیم و یک بوته حاوی دولومیت) را خارج کرده و آنها را برای سرد شدن به دمای محیط در دسیکاتور قرار دهید. پس از اینکه دمای کوره به $200 \pm 1050^{\circ}\text{C}$ رسید، دو بوته دیگر را نیز خارج کرده و آنها را نیز در دسیکاتور قرار دهید. نمونه‌ها پس از سرد شدن به دمای محیط برای بررسی واکنش آن‌ها با آب آماده‌اند. ذرات آهک (کربنات کلسیم پخته) در تماس با آب شکفته می‌شوند. شکفته شدن آهک یک واکنش گرمازا است. آهک شکفته (هیدروکسید کلسیم) در دانه‌بندی خیلی ریز ($2\mu\text{m}$) و توزیع یکنواخت وجود دارد.

-مرحله دوم

روش عملی

وسایل لازم:

۱- قیف شیشه‌ای یا پلاستیکی ۱ عدد

۲- ارلن شیشه‌ای یا پلاستیکی با حجم تقریبی ۵۰۰ میلی لیتر چهار عدد

۳- بشر یا کاسه پلاستیکی با حجم تقریبی ۳۰۰ میلی لیتر ۲ عدد

۴- همزن شیشه‌ای یا پلاستیکی ۱ عدد

۵- پیپت ۱۰ میلی لیتری ۱ عدد

۶- عینک ایمنی و دستکش لاستیکی

۷- کیسه پلاستیکی (کیسه فریزر)

۸- نمونه های (کربناتهای پخته شده) آزمون قبلی (.....) موجود در دسیکاتور

آزمایش: در اولین فرصت پس از خنک شدن بوته‌های موجود در دسیکاتور به دمای محیط با احتیاط فراوان (با دستکش لاستیکی و عینک ایمنی) نصف محتوی بوته حاوی آهک پخته شده در دمای 105°C را از طریق قیفی که روی بشرارلن حاوی تقریباً ۳۰۰ میلی لیتر آب قرار داده شده است، به بشرارلن بیفزایید. نکته قابل توجه شدت واکنش کربناتهای پخته شده با آب است. هر یک از سه نمونه باقیمانده را نصف کرده و این آزمون را روی آنها انجام دهید و اختلاف بین شدت ترکیب آنها با آب را ملاحظه و یادداشت کنید.

برای شکستن نصف دیگر آهک آن را با احتیاط زیاد در ظرفی پلاستیکی حاوی ۵ میلی لیتر آب شهر ریخته و با همزدن مداوم آن را به خمیر تبدیل کنید. (در صورت کافی نبودن آب به کمک پیپت یک میلی لیتر آب به مخلوط بیفزایید و چنانچه کفایت نکرد، مجدداً افزودن آب را میلی لیتری ادامه دهید). به دانه بندی قبل و بعد از شکسته شدن دقت شود. خمیر حاصل شده را به دو نیمه کرده و نیمی از آن را در یک کیسه پلاستیک (دو کیسه فریزرداخل یکدیگر) سالم قرار دهید و با فشردن خمیر، هوای کیسه را خارج کنید. نصف دیگر خمیر را روی یک کیسه فریزر و در مجاورت هوا قرار دهید. با سه نمونه پخته شده دیگر نیز آزمایش را تکرار کنید. ترکیب آب با اکسید کلسیم (آهک) طبق واکنش (۲-۱) انجام می گیرد:



بعد از ۲۴ ساعت مجدداً به نمونه‌ها و حالت شکل پذیری آنها دقت کنید. علت شکل پذیر نبودن نمونه‌های موجود در مجاورت هوا (در صورتی که دمای پخت نمونه به اندازه کافی بوده باشد)، به دلیل گرفتن CO_2 از هوا، و انجام واکنش (۳-۱) است:



مشاهدات خود را در جدول مشابه جدول ۱-۵ یادداشت کنید (با زدن علامت × در جدول حالت آن را ثبت کنید). برای نمونه‌های پخته شده در 70°C نیز به روش مشابه عمل نموده و نتایج را در جدول ثبت نتایج وارد نمایید.

جدول ۵-۱: ویژه ثبت نتایج آزمون شکفتن کربنات کلسیم و دولومیت پخته

حالت خمیر					
۱۰۵۰°C		۷۰۰°C			
سخت	نرم	سخت	نرم		
				در مجاورت هوا	
				در کیسه پلاستیکی	خمیر دولومیت
				در مجاورت هوا	

۷-۱- بررسی تغییرات ظاهری مواد اولیه در تماس با آب

در بررسی خواص فیزیکی با مواردی از قبیل سختی، رنگ حالت خام، پلاستیسیته و ... آشنا شدیم. این خصوصیات به تشخیص مواد اولیه و تفکیک مواد اولیه از یکدیگر کمک می‌کند. معمولاً مواد اولیه سرامیکی در تماس با آب می‌توانند واکنش‌های مختلفی داشته باشند. آب نیز می‌تواند با ذرات مواد اولیه به صورت فیزیکی در تماس قرار گیرد و یا با آنها واکنش شیمیایی دهد که نوع واکنش می‌تواند زمینه تشخیص نوع ماده اولیه را فراهم سازد. مثلاً اگر آهک (CaO) را با آب در تماس آوریم ضمن تولید گرما آهک شکفته حاصل می‌شود که واکنش مربوطه در رابطه (۵-۱) نشان داده شده است.



معمولاً $\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ به صورت $\text{Ca}(\text{OH})_2$ که همان هیدروکسید کلسیم است، نوشته می‌شود. حال اگر چنانچه ماسه کوارتز در تماس با آب قرار گیرد، در این صورت، ماسه کوارتز بدون ایجاد گرما خیس شده و آب فقط در تماس سطحی با ماسه کوارتز می‌ماند که در واقع واکنشی صورت نمی‌گیرد و آب به صورت فیزیکی در مجاورت ماسه کوارتز باقی می‌ماند. واکنش‌های شیمیایی برخلاف حالت‌های فیزیکی می‌توانند نهایتاً روی رنگ، استحکام و ... مؤثر واقع شود که به تشخیص دادن مواد اولیه از یکدیگر کمک می‌کند.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ترازو با دقت ۱ گرم
- ۲- کاسه فلزی ۳ عدد
- ۳- پودر کائولین ۲۰۰ گرم
- ۴- پودر سنگ گچ ۲۰۰ گرم
- ۵- پودر گچ نیمه هیدراته (گچ قالبسازی) ۲۰۰ گرم
- ۶- خشک کن دمای 110°C
- ۷- آب شهر
- ۸- همزن شیشه‌های، پلاستیکی یا فلزی
- ۹- دسیکاتور

آزمایش: ابتدا مواد اولیه شامل پودر کائولین، پودر سنگ گچ و پودر گچ نیمه هیدراته را در خشک کن به مدت ۳ ساعت در دمای 40°C قرار دهید. پس از گذشت زمان مقرر نمونه‌ها را در دسیکاتور تا دمای محیط خنک کرده و سپس 150°C گرم از هر نمونه را با دقت ۱ گرم در سه کاسه فلزی جداگانه توزین کنید.

به محتوی هر ظرف مقدار ۱۰۰ گرم (میلی لیتر) آب شهر بیفزایید و مخلوط مربوطه را با همزدن به وسیله همزن دستی (قاشق) به ملاتی همگن تبدیل کنید (همزدن هر مخلوط به مدت تقریبی ۵ دقیقه کافی است). تفاوت حالت مخلوط‌ها را همانگونه که در کاسه فلزی هستند با لمس کردن به کمک دست و انگشتان احساس کنید (سعی شود از مخلوط‌ها چیزی کم نشود). آنچه را که مشاهده می‌کنید و احساس می‌شود، یادداشت کنید. حال ملات‌ها را همراه کاسه به مدت یک ساعت در گوشه‌ای قرار دهید و پس از گذشت زمان اشاره شده با لمس کردن آن‌ها مشاهدات خود را یادداشت کنید. پس از ثبت مشاهدات ملات‌ها را همراه کاسه توزین کنید (دقت ۱ گرم) و آن‌ها را در خشک کن در دمای $45-40^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت خشک کنید (اقامت در خشک کن تا زمانی است که کل آب تبخیر شود و ملات‌ها کاملاً خشک شده باشند). پس از خشک شدن نمونه‌ها و سرد کردن آن‌ها به دمای محیط مجدداً آن‌ها را توزین کنید. نتایج مربوط به توزین را یادداشت کنید و با توزین‌های اولیه شامل پودر اولیه و مخلوط پودر و آب مقایسه کنید. اختلاف در وزن‌ها ناشی از آب افزوده شده به مواد اولیه است که در پودر کائولین و پودر سنگ گچ به صورت فیزیکی بوده و روی افزایش وزن بی‌تاثیر بوده است ولی در پودر گچ نیمه هیدراته به صورت شیمیایی عمل کرده و آن را افزایش داده است.

۸-۱- خودآزمایی

- ۱- آیا می‌دانید که برای از بین بردن رسوب سماور در منزل چگونه عمل می‌شود؟
- ۲- واکنش‌های مربوط به پخت دولومیت، همچنین شکافتن آهک با آب را بنویسید.
- ۳- علت سخت شدن آهک پخته در محیط مرطوب چیست؟
- ۴- چرا با افزودن اسیدکلریدریک به کربنات‌ها گاز تولید می‌شود؟ واکنش سودا (کربنات سدیم) با اسیدکلریدریک را بنویسید.
- ۵- واکنش‌های مربوط به پختن سنگ آهک، شکفته شدن آهک در تماس با آب و سخت شدن مجدد آن در مجاورت هوا (CO_2 موجود در هوا) را بنویسید.
- ۶- چرا وزن مخصوص سنگ دولومیت در مقایسه با دولوما (سنگ دولومیت پخته) تهیه شده از آن کمتر است؟ (راهنمایی: به از دست دادن CO_2 در حین پخت توجه شود).
- ۷- چرا وزن مخصوص سنگ آهک CaCO_3 در مقایسه با آهک شکفته شده (Ca(OH)_2) و در مجاورت CO_2 هوا سخت شده بیشتر است؟ (به آب فیزیکی برای ساخت ملات، خروج آن و ایجاد تخلخل توجه شود).
- ۸- واکنش مربوط به تبدیل گچ نیمه هیدراته ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) به دی هیدراته ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) را در تماس با آب بنویسید و نتیجه‌گیری کنید که چرا وزن گچ نیمه هیدراته پس از تماس با آب و خشک شدن در دمای 50°C سنگین تر می‌شود؟
- ۹- چرا در وزن پودر کائولین پس از در تماس آمدن با آب و خشک شدن مجدد در 50°C < تغییر می‌گیرد؟

خواص گچ قالبسازی و روش های اندازه گیری آن ها

هدف های رفتاری - فراگیر پس از پایان این فصل قادر خواهد بود که:

- واکنش های سولفات کلسیم دی هیدراته به سولفات کلسیم نیمه هیدراته را بداند.
- مصارف گچ قالبسازی در صنعت سرامیک را بداند.
- خواص فیزیکی ژپس را نام ببرد.
- نکات ایمنی هنگام کار کردن با گچ را فرا گیرد.
- روش اندازه گیری نسبت گچ به آب را بداند.
- روش اندازه گیری سیالیت دوغاب گچ را فرا گیرد.
- زمان گیرش اولیه ، ثانویه و زمان پریدن را از یکدیگر تشخیص دهد.
- روش اندازه گیری ضریب دیفوزیون گچ را بداند.
- نحوه اندازه گیری مقاومت مکانیکی (استحکام) گچ را فرا گیرد.

خصوصیت مهم گچ، که انگیزه‌ی استفاده از آن را در صنایع سرامیک و ساختمانی فراهم نموده است، این ویژگی است که گچ در اثر حرارت دیدن در یک واکنش گرماگیر بخشی یا کل آب تبلور خود را از دست می‌دهد و تبدیل به گچ پخته می‌شود. گچ پخته مجدداً در تماس با آب و طی یک واکنش گرما زا آب از دست داده خود را مجدداً گرفته به حالت اولیه‌ی برمی‌گردد.

گچ در طبیعت به صورت سنگ گچ که حاوی مقدار زیاد کانی سولفات کلسیم دی هیدرات ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) با نام مینرالی ژپس است، یافت می‌شود. در صنعت گچ برای تولید گچ قالبسازی برای صنایع سرامیک، با حرارت دادن سنگ گچ در کوره‌های تاوه ای (کتل - Kettel) آن را به سولفات کلسیم نیمه هیدراته ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) تبدیل می‌کنند. در صنعت سرامیک صنعتی سنتی به طور کلی به سه منظور از گچ استفاده می‌شود:

- ۱- ساخت قالب های گچی ویژه ریخته‌گری دوغابی
- ۲- ساخت قالب های گچی ویژه شکل دادن گل پلاستیک (جیگر و جولی)
- ۳- ساخت مدل گچی و برخی از مادر قالب ها

قبل از بکارگیری پودر گچ قالبسازی برای تهیه قالب جهت شکل دهی در صنعت سرامیک نیاز به بررسی برخی از خواص آن است. نتیجه ارزیابی خواص نشان خواهد داد که آیا گچ آزمایش شده آمادگی استفاده در صنعت سرامیک را دارد یا برای این منظور شایستگی لازم را ندارد. برای آگاهی از کیفیت گچ برای قالبسازی چند آزمون مهم از آزمون های مرسوم معرفی می شوند:

- ۱- ماکزیمم نسبت گچ به آب
- ۲- سیالیت
- ۳- گیرش اولیه و ثانویه
- ۴- ضریب دیفوزیون (نفوذ پذیری)
- ۵- مقاومت مکانیکی (استحکام)

۱-۲- نسبت گچ به آب

جهت ساخت قالب و مدل، به دوغاب گچ با سیالیتی مناسب نیاز است. سیالیت کم باعث ایجاد مشکل در ساخت قالب می گردد و سیالیت زیاد (ناشی از آب بیش از حد دوغاب گچی) باعث کاهش مقاومت قالب می گردد. لذا جهت رسیدن به سیالیت مناسب دوغاب گچی، به مخلوط مناسبی از آب و گچ نیاز است. انتخاب نسبت مناسب گچ به آب، سیالیت مناسب دوغاب را فراهم می کند.

برای به دست آوردن نسبت گچ به آب مناسب، ابتدا نیاز به تعیین ماکزیمم نسبت گچ به آب است.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- بشر به حجم ۳۰۰ میلی لیتر ۱ عدد
- ۲- استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری ۱ عدد
- ۳- همزن دستی یا الکتریکی
- ۴- ترازو با دقت ۱ گرم
- ۵- کورنومتر ۱ عدد
- ۶- پودر گچ قالبسازی یا ساختمانی به مقدار ۱۰۰۰ گرم
- ۷- ظرفی شبیه سینی ۱ عدد

آزمایش:

ابتدا ۲۵۰ گرم پودر گچ (ترجیحا گچ قالبسازی در صورت موجود نبودن گچ ساختمانی) را توزین نمایید. ۱۰۰ میلی لیتر (گرم) آب را پیمانه کرده و یا وزن نموده آن را داخل بشر بریزید. بشر رادر سینی قرار داده و شروع به پاشیدن پودر گچ توزین شده به آرامی به داخل بشر محتوی آب نمایید. دقت کنید که گچ توزین شده در حین پاشیدن در خارج سینی نریزد و هدر نرود. پاشیدن گچ را ادامه دهید تا مخروطی از پودر گچ به ارتفاع تقریبی ۳ تا ۵ میلی متر (شکل ۲-۱) در وسط

سطح آب ظاهر شود (سعی شود کل زمان پاشیدن ۴ دقیقه باشد). آنچه احتمالاً در حین پاشیدن پودر گچ داخل سینی ریخته شده است را به پودر گچ مصرف نشده افزوده و سپس آن را جهت تعیین گچ باقیمانده توزین کنید. با کم کردن مقدار گچ باقیمانده از ۲۵۰، مقدار پودر گچ مصرف شده برای تعیین ماکزیمم نسبت گچ به آب حاصل می شود. نتایج را در جدولی مشابه جدول ۱-۲ ثبت نمائید.

جدول ۱-۲ ویژه ثبت نتایج آزمون ماکزیمم نسبت گچ به آب

آزمایش	مقدار گچ مصرف شده به g	مقدار آب به میلی لیتر	ماکزیمم نسبت گچ به آب
۱		۱۰۰	
۲		۱۰۰	
۳		۱۰۰	



شکل ۱-۲- وضعیت پایانی پودر گچ در آزمون ماکزیمم نسبت گچ به آب

مخلوط گچ و آب داخل بشر را به وسیله همزن خوب مخلوط کنید. سپس سعی کنید آن را روی سطح صاف (شیشه‌ای) تخلیه نمائید. معمولاً دوغاب گچ حاصله به دلیل سیالیت کم رفتاری شبیه عسل از خود نشان می دهد و به سختی جریان پیدا می کند. اگر رفتاری خلاف رفتار شرح داده شده داشت، در پاشیدن پودر گچ دقت کافی نشده و از پودر گچ بیشتر یا کمتر از حد مجاز در ساخت دوغاب استفاده شده است. آزمایش را ۲ مرتبه دیگر تکرار نمائید و نتایج را در جدول ثبت کنید. برای تعیین ماکزیمم نسبت گچ به آب (۱۰۰ میلی لیتر) از رابطه ۱-۲ استفاده می شود.

$$\frac{\text{تفاضل گچ باقیماند از ۲۵۰ گرم گچ اولیه}}{۱۰۰} = \frac{\text{گچ مصرف شده}}{\text{آب}} = \text{ماکزیمم نسبت گچ به آب}$$

$$W_{\max} = \frac{A}{B} = \frac{A}{۱۰۰} \quad \text{یا} \quad (۱-۲)$$

A = وزن گچ مصرف شده (تفاضل گچ باقیماند از ۲۵۰ گرم گچ اولیه)

B = آب مصرف شده (در اینجا ۱۰۰ میلی لیتر است)

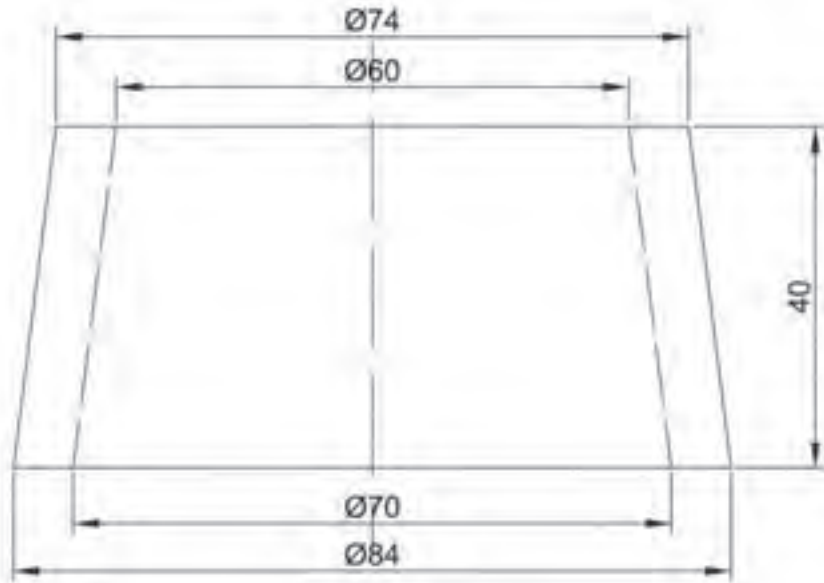
پس از تعیین ماکزیمم نسبت گچ به آب پودر گچ که معمولا برای گچ قالب سازی حدود ۱/۶ - ۱/۵ است می توان به نسبت گچ به آب کاربردی دست یافت. نسبت گچ به آب کاربردی گچ قالب سازی معمولا در محدوده ۱/۴ - ۱/۲ قرار دارد. برای ساخت قالب گچی با استحکام بالا برای مثال برای قالب های دستگاه جیگر و غیره از نسبت گچ به آب بزرگتر (حدود ۱/۴ و بالاتر) استفاده می شود. برعکس برای اهداف ریخته گری دوغابی که تخلخل قالب نقش مهمی دارد نسبت گچ به آب متوسط (۱/۴ - ۱/۲) مطرح است. پس به صورت تجربی می توان نتیجه گیری کرد که نسبت گچ به آب کاربردی تقریبا ۰/۲ - ۰/۱ کمتر از ماکزیمم نسبت گچ به آب انتخاب می شود. با رعایت این قانون تجربی دوغاب گچی از سیالیت مناسبی برای ریختن داخل مادر قالب و به طور کلی ساخت قالب گچی برخوردار است.

۲-۲ - سیالیت

به میزان روانی دوغاب گچی سیالیت گفته می شود. اهمیت سیالیت در ساخت دوغاب گچی در مقدار زیاد مثلا در هنگام ساخت قالب ها به کمک مادر قالب است. برای سنجش سیالیت از حلقه ویکات که مخروط ناقص است و شکل و ابعاد آن در تصویر ۲-۲ ب. مشاهده می شود، استفاده می شود.



شکل ۲-۲-الف - حلقه ویکات



شکل ۲-۲-ب- ابعاد استاندارد حلقه ویکات

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- بشر به حجم ۵۰۰ میلی لیتر ۱ عدد
- ۲- استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری ۱ عدد
- ۳- همزن دستی یا الکتریکی
- ۴- ترازو با دقت ۱ گرم
- ۵- حلقه ویکات ۱ عدد
- ۶- پودر گچ قالبسازی یا ساختمانی به مقدار ۶۰۰ گرم
- ۷- شیشه تخت پنجره به ابعاد تقریبی $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$
- ۸- روغن جدایش و قلم مو
- ۹- خط کش مدرج پلاستیکی یا فلزی ۱ عدد
- ۱۰- کورنومتر ۱ عدد
- ۱۱- نتیجه (عدد) ماکزیمم نسبت گچ به آب از آزمون قبل

آزمایش:

با مشخص شدن ماکزیمم نسبت گچ به آب پودر گچ موجود در کارگاه امکان اندازه گیری سیالیت دوغاب های ساخته شده با آن وجود دارد.

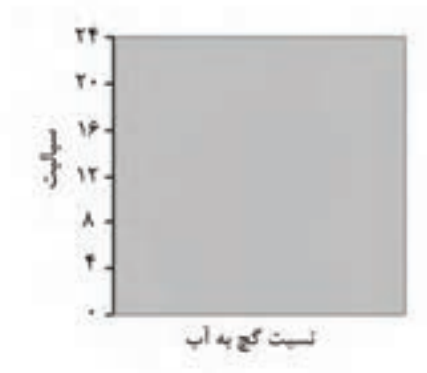
ابتدا سطح شیشه را به وسیله‌ی ابر آغشته به روغن چرب نمایید. سطح داخلی حلقه و یکات خشک را به وسیله‌ی روغن چرب نمایید و آن را در وسط شیشه به گونه‌ی که قاعده بزرگتر آن روی سطح شیشه باشد، قرار دهید. با توجه به ماکزیمم نسبت گچ به آب اندازه گیری شده سه نسبت گچ به آب مناسب را انتخاب نمایید (نسبت های گچ به آب ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ کمتر از ماکزیمم نسبت گچ به آب انتخاب گردد). با توجه به نسبت های گچ به آب انتخابی مقدار آب مورد نیاز برای ساخت دوغاب های گچی حاوی ۲۴۰ گرم پودر گچ را محاسبه نمایید (برای مثال ۲۴۰ گرم پودر گچ در نسبت گچ به آب ۱/۲ نیاز به ۲۰۰ میلی لیتر آب دارد). برای اولین آزمایش ۲۴۰ گرم پودر گچ را با دقت ۱ گرم توزین کنید. مقدار آب مورد نیاز با توجه به نسبت گچ به آب انتخابی را به کمک استوانه مدرج پیمانه کرده و در بشر بریزید. گچ توزین شده را بلا فاصله بعد از روشن کردن کورنومتر به آرامی در مدت زمان ۶۰ ثانیه به داخل بشر بپاشید. پس از سپری شدن پاشیدن ۳۰ ثانیه به مخلوط گچ و آب فرصت متعادل شدن دهید و سپس به وسیله همزن الکتریکی با دور ۷۵۰ rpm (۷۵۰ دور در دقیقه) دوغاب را به مدت ۶۰ ثانیه و یا به وسیله‌ی همزن دستی (مانند تیغهی فلزی یا شیشه‌ای) به مدت ۱۲۰ ثانیه هم بزنید. با زدن چند ضربه‌ی آرام به دیواره بشر حباب‌های هوای دوغاب گچ را خارج نمایید. دوغاب گچ را به آرامی داخل حلقه و یکات بریزید تا حلقه کاملاً پر شود و سطح دوغاب با سطح بالایی آن هم سطح شود. پس از پر شدن حلقه و یکات بی درنگ آن را به کمک دست و به سمت بالا بردارید تا دوغاب گچ روی سطح شیشه‌ی دایره‌ای شکل جریان یابد. حال با استفاده از خط کش قطر دایره تشکیل شده را از جهات مختلف (حداقل ۳ جهت) اندازه‌گیری نمایید. میانگین قطر دایره‌ی به دست آمده را محاسبه کنید و به عنوان سیالیت به سانتی متر یادداشت نمایید. اندازه‌گیری سیالیت را برای دو نسبت گچ به آب باقیمانده انجام دهید و نتایج را در جدولی مشابه جدول ۲-۲ ثبت نمایید. در سیستم مختصات مشابه شکل ۲-۳ سیالیت (محور عمودی) را بر حسب نسبت گچ به آب (محور افقی) رسم نمایید.

تذکر مهم: بلافاصله ظروف آغشته به دوغاب گچ را با آب بشویید.

در شکل های ۲-۴ الی ۲-۶ تصاویری از مراحل مختلف آزمایش سیالیت مشاهده می شود.

جدول ۲-۲ نتایج آزمون سیالیت دوغاب گچ

آزمایش	نسبت های گچ به آب انتخابی	مقدار پودر گچ به گرم	مقدار آب به میلی لیتر	سیالیت به سانتی متر		
				۱	۲	۳
۱		۲۴۰				
۲		۲۴۰				
۳		۲۴۰				



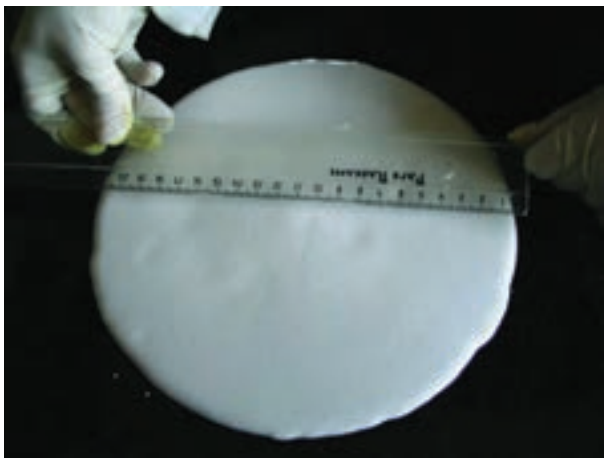
شکل ۲-۳- نمودار سیالیت بر حسب نسبت گچ به آب



شکل ۲-۵- الف- حلقه ویکات پر شده توسط دوغاب گچ



شکل ۲-۴- ریختن دوغاب گچ در حلقه ویکات



شکل ۲-۵- ب- بلند نمودن حلقه ویکات و چریان یافتن دوغاب گچ شکل ۲-۶- اندازه گیری قطر (سیالیت) دوغاب گچ جریان یافته



شکل های ۲-۴ الی ۲-۶ تصاویر از مراحل انجام آزمون سیالیت

۲-۳- تعیین زمان گیرش اولیه و ثانویه دوغاب گچ

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- بشر با حجم ۲۰۰، ۵۰۰ و... میلی لیتر
- ۲- استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری ۱ عدد
- ۳- همزن دستی یا الکتریکی
- ۴- ترازو با دقت ۱ گرم
- ۵- تیغهی فلزی دارای یک لبه تیز به ضخامت تقریبی ۰/۷ میلی متر
- ۶- پودر گچ قالبسازی یا ساختمانی به مقدار ۵۰۰ گرم
- ۷- شیشه تخت پنجره به ابعاد تقریبی ۳۰ cm × ۳۰ cm، ۱ عدد
- ۸- روغن جدایش و قلم مو
- ۹- کورنومتر ۱ عدد
- ۱۰- نتایج آزمون سیالیت

آزمایش:

از بین آزمایش های سیالیت انجام شده نتیجه بیشترین سیالیت را انتخاب نمائید. نسبت گچ به آبی که برای آن سیالیت بکار گرفتید را پایه برای انجام این آزمون قرار دهید. با توجه به نسبت گچ به آب مقدار آب لازم را برای ۱۰۰ گرم پودر گچ محاسبه نمائید. قبل از شروع آزمایش برای ثبت نتایج جدولی مشابه جدول ۲-۳ آماده نمائید.

جدول ۲-۳- نتایج گیرش گچ

آزمایش	نسبت گچ به آب	گیرش اولیه (t_1) به دقیقه	گیرش ثانویه (t_2) به دقیقه	زمان پریدن (t_p) به دقیقه	زمان بستن (t_f) به دقیقه $t_1 + t_p + t_f = t_f$
۱					
۲					
۳					

ابتدا شیشه تخت را با مقدار کم روغن جدایش چرب کنید به نحوی که هیچگونه اثری از روغن روی سطح آن مشاهده نشود. به کمک ترازو ۱۰۰ گرم پودر گچ را با دقت ۱ گرم توزین کنید و مقدار آب محاسبه شده بر اساس نسبت گچ به آب انتخابی را با استوانه مدرج پیمانه نمایید. آب را در بشر ۲۰۰ میلی لیتری تخلیه کرده کورنومتر(زمان سنج) را فعال نمایید و به آرامی اقدام به پاشیدن پودر گچ به داخل اب با رعایت زمان های زیر نمایید(توجه داشته باشید که زمان سنج تا پایان انجام آزمایش روشن می ماند):

۱- پاشیدن کل پودر گچ به داخل آب در ۳۰ ثانیه

۲- توقف ۳۰ ثانیه ای بعد از پاشیدن گچ در آب

۳- همزدن مخلوط آب و گچ به مدت ۱ دقیقه با همزن برقی و ۲ دقیقه در صورت به کارگیری همزن دستی

۴- پس از اتمام همزدن یک دقیقه دوغاب گچ را به حال خود قرار رها کنید.

حال دوغاب گچ را برروی سطح شیشه روغن زده تخلیه نمایید. بلافاصله بشرو کلیه وسایلی که به گچ آغشته شده اند باید شسته شوند. اگر دوغاب گچ اضافه است آن را در جای پیش بینی شده برای تخلیه خالی نمایید و سپس شستشو با آب را انجام دهید تا از ورود گچ به فاضلاب و تاسیسات مربوط به آن جلوگیری گردد.

پس از گذشت ۳ تا ۵ دقیقه به وسیله تیغه فلزی اقدام به کشیدن خط در سطح دوغاب کنید. شیار ایجاد شده به دلیل حالت دوغابی گچ محو می شود. ایجاد شیار را با تیغه ادامه دهید تا زمانی که دوغاب گچ به سمت خمیری متمایل شده و شیار محو نمی شود. زمان ثبت شده توسط کورنومتر از ابتدای پاشیدن پودر گچ به داخل آب تا رسیدن به محو نشدن شیار که زمان گیرش اولیه (t_p) است را یادداشت نمایید.

برای تعیین زمان گیرش ثانویه از اعمال فشار توسط انگشت شست برروی سطح گچ خمیری شده در حال سخت شدن کمک بگیرید. این کار را ادامه دهید تا زمانی که در اطراف محل در اثر اعمال فشار توسط انگشت آب جمع نشود. این لحظه گویای رسیدن به زمان گیرش ثانویه (t_p) است که باید یادداشت شود. این زمان از پایان گیرش اولیه شروع شده است. در عمل آگاهی داشتن از این زمان جهت پرداخت سطح دوغاب گچ تخلیه شده در مادر قالب مفید است .

در ادامه به وسیله لبه تیز تیغه فلزی به دفعات به لبه توده گچ سفت شده فشار آورید. زمانی که کنده شدن گچ توسط تیغه همراه با پریدن است گچ به پایان زمان گیرش رسیده است که این زمان باید ثبت گردد. زمان پریدن (t_p) از پایان زمان گیرش ثانویه شروع می شود. انتهای زمان گیرش ثانویه تا زمان پریدن با عنوان "زمان پریدن" را یادداشت نمایید.

پس از زمان پریدن گرم شدن گچ اتفاق می افتد که بیانگر گیرش کامل گچ است. از ابتدای پاشیدن گچ به داخل آب تاگیرش کامل گچ که با نام زمان بستن (t_p) تعریف می شود در هنگام تولید قالب توسط مادر قالب برای تشخیص زمان باز کردن آن استفاده می شود.

با دو نسبت گچ به آب دیگر که با آن ها آزمون سیالت را انجام دادید مجدداً آزمون تعیین گیرش اولیه ، گیرش ثانویه ، زمان

پريدن و زمان بستن را انجام دهيد و نتايج حاصله را در جدول ثبت اطلاعات يادداشت نماييد. شاين ذکر است كه با تغيير نسبت گچ به آب زمان هاي گيرش گچ تغيير مي كند آنچه زمينه ساز بحث نتايج را فراهم مي سازد. در شكل هاي ۲-۷ الي ۲-۱۱ مراحل از انجام آزمون گيرش گچ مشاهده مي شود.



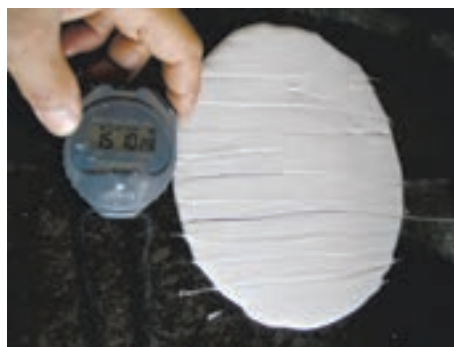
شكل ۲-۸- ايجاد شيار توسط تيغه



شكل ۲-۷- همزدن دوغاب گچ



شكل ۲-۱۰- فشار با انگشت



شكل ۲-۹- محو نشدن شيار



شكل ۲-۱۱- پريدن گچ

شكل هاي ۲-۷ الي ۲-۱۱ مراحل مختلف اندازه گيري زمان گيرش دوغاب گچ

توجه داشته باشيد كه اندازه گيري زمان هاي ياد شده دقيق نيستند و مي توانند ۱ الي ۲ دقيقه خطا داشته باشند كه اين

خطا با توجه به تجربی بودن آزمایش ها قابل قبول است.

۲-۴- نفوذ پذیری گچ

هنگام ریخته‌گری دوغابی، یکی از عوامل مؤثر در بستن جداره در قالب، نفوذپذیری قالب گچی است. سرعت نفوذ آب موجود در دوغاب در تخلخل (لوله‌های موئین) قالب که باعث تشکیل جداره می‌گردد به نفوذ پذیری قالب گچی مربوط می‌شود که در این آزمون به آن پرداخته می‌شود. از عوامل مؤثر بر نفوذپذیری می‌توان به نوع گچ، دانه‌بندی پودر گچ، نسبت گچ به آب و نحوه ساخت دوغاب گچی اشاره کرد.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- بشر پلاستیکی ۱۰۰۰ میلی لیتری اعداد
- ۲- استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری اعداد
- ۳- همزن دستی یا الکتریکی
- ۴- ترازو با دقت ۰/۱ گرم
- ۵- پودر گچ قالب‌سازی به مقدار ۱۵۰۰ گرم
- ۶- شیشه تخت پنجره به ابعاد تقریبی $30\text{ cm} \times 40\text{ cm}$
- ۷- روغن جدایش و قلم مو
- ۸- کورنومتر
- ۹- قالب ساخت نمونه به ابعاد داخلی $300\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ ، ۱ عدد
- ۱۰- ورقه‌ی فلزی به ابعاد $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ (قابل تهیه از حلبی) ۱ عدد
- ۱۱- ظرف گود به عمق حدود ۳ سانتی متر (مانند بشقاب گود) ۱ عدد
- ۱۲- پایه فلزی ۱ عدد
- ۱۳- مداد نرم ۱ عدد
- ۱۴- سمباده نرم ۱ عدد
- ۱۵- کاردک ۱ عدد
- ۱۶- خشک کن ۱ عدد
- ۱۷- کولیس ۱ عدد

آزمایش:

سطح شیشه را چرب نموده و آن را روی سطح میز قرار دهید. قالب که نمونه آن در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است را تمیز کرده و سطوح داخلی آن را چرب نموده و آن را روی سطح شیشه قرار دهید. در صورت موجود نبودن قالب با توجه به ابعاد قطعه (ابعاد داخلی قالب) که در قسمت وسایل آمده است امکان ساخت نمونه با قالب تشکیل شده از تخته های چوبی با رعایت ابعاد نیز وجود دارد.



شکل ۲-۱۳- بستن قالب با نوار لاستیکی



شکل ۲-۱۲- روغنکاری قالب ویژه آزمون نفوذ پذیری گچ

شکل های ۲-۱۲ الی ۲-۱۳ آماده سازی قالب نفوذ پذیری گچ

۳۰۰ میلی لیتر آب شهر را با استوانه مدرج اندازه گیری و در بشر پلاستیکی تخلیه نمائید. ۴۰۰ گرم گچ قالب سازی را با دقت ۱ گرم توزین کنید. زمان سنج را فعال نمائید و فوراً اقدام به پاشیدن پودر گچ به داخل آب نمائید. زمان پاشیدن را ۶۰ ثانیه در نظر بگیرید. به مخلوط ۳۰ ثانیه فرصت داده شود و سپس با همزن الکتریکی با دور 750 rpm (۷۵۰ دور در دقیقه) به مدت ۶۰ ثانیه و یا با همزن دستی به مدت ۱۲۰ ثانیه آن را هم بزنید. با زدن ضربه آرام دست به دیواره بشر اقدام به خروج احتمالی هوای حبس شده در دوغاب کنید. نسبت گچ به آب دوغاب ساخته شده $\frac{400}{300} = 1.33$ می باشد. قالب را توسط دوغاب گچ پر کنید. پس از گیرش گچ به کمک کاردک سطح آن را پرداخت نمائید. پس از گرم شدن گچ قالب را باز نموده و قطعه گچی را از قالب خارج نمائید. ابتدا پلیسه های احتمالی ناشی از درز قالب را با احتیاط و با کاردک از قطعه جدا کنید سپس با پارچه ی خشک و تمیز سطح نمونه را از روغن احتمالی پاک کنید. نمونه پس از توقف ۵ دقیقه ای در محیط کارگاه به خشک کن جهت خشک شدن در دمای ۴۵ درجه سلسیوس با هدف خارج شدن آب فیزیکی موجود در لوله های موئین (تخلخل) آن انتقال داده می شود (توجه داشته باشید که اگر دمای خشک کردن بیش از دمای ذکر شده باشد موجب خروج آب شیمیائی قطعه شده که منجر به کاهش استحکام قطعه می شود). تقریباً ۴۸ ساعت زمان نیاز است تا قطعه کاملاً خشک شود. (پس از گذشت ۴۰ ساعت، هر دو ساعت یکبار نمونه را از خشک کن خارج کنید و آن را پس از خنک شدن به دمای محیط با دقت ۰/۱ گرم وزن کنید. در صورت ثابت ماندن وزن در محدوده ± 0.5 گرم مرحله خشک کردن پایان یافته تلقی می شود و نمونه آماده استفاده برای آزمون است.

مراحل انجام کار به صورت خلاصه در شکل های ۲-۱۴ الی ۲-۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۵- باز کردن قالب و خارج نمودن قطعه گچی



شکل ۲-۱۴- تخلیه دوغاب گچ داخل قالب



شکل ۲-۱۷- تنظیم خشک کن روی دمای ۴۵ درجه سلسیوس



شکل ۲-۱۶- قراردادن نمونه در خشک کن، دمای ۴۵ درجه سلسیوس

شکل های ۲-۱۴ الی ۲-۱۷ مراحل از ساخت نمونه ویژه تست نفوذپذیری گچ

پیشنهاد می شود جدولی مشابه جدول ۲-۴ تهیه و نتایج مربوط به این آزمون را در آن ثبت نمایید.

جدول ۲-۴ نتایج نفوذپذیری گچ

نسبت گچ به آب	نفوذ (X_1) بعد از ۶۰ ثانیه (t_1) به میلی متر	نفوذ (X_2) بعد از ۲۴۰ ثانیه (t_2) به میلی متر	نفوذ (X_3) بعد از ۵۴۰ ثانیه (t_3) به میلی متر	نفوذ (X_4) بعد از ۹۶۰ ثانیه (t_4) به میلی متر

برای ادامه کار ابتدا قاعده‌های نمونه‌ی (منشور مربع القاعده) خشک شده را به وسیله‌ی سمباده نرم پرداخت نمایید تا آثار روغن کاملاً از بین برود.

گوشه های ورق فلزی به ابعاد $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ را به ارتفاع تقریبی ۱ سانتیمتر برای ساخت پایه خم کنید. در خم کردن گوشه های پایه دقت نمایید تا آن ها کاملاً هم اندازه باشند و نمونه گچی تراز روی پایه بایستد. پایه را داخل ظرف گود (بشقاب گود) قرار دهید و منشور گچی را روی پایه استوار نمائید (شکل های ۲-۱۸ الی ۲-۱۹).



شکل ۲-۱۹- قرار دادن منشور گچی روی پایه



شکل ۲-۱۸- قرار دادن پایه در ظرف گود

شکل های ۲-۱۸ الی ۲-۱۹ آماده سازی منشور گچی جهت اندازه گیری نفوذپذیری

منشور را ابتدا از روی پایه بردارید در داخل بشقاب به وسیله استوانه مدرج مقداری آب بریزید. ریختن آب را تا ۲ میلی متر مانده به راس گوشه های پایه ادامه دهید. منشور گچی را مجدداً روی پایه استوار نمائید. زمان سنج را آماده نگه دارید و ریختن آب به داخل ظرف را با احتیاط و با پیست (آبفشان) تا برقرار شدن ارتباط آب و قاعده منشور ادامه دهید. به محض تماس آب با منشور گچی ریختن آب را قطع و زمان سنج را استارت نمائید (توجه داشته باشید که سنجش زمان توسط زمان سنج تا پایان آزمون قطع نمی شود و همچنین به هیچ وجه آبی به ظرف افزوده نمی شود). در شکل های ۲-۲۰ الی ۲-۲۱ مراحل گفته شده را به صورت مصور مشاهده می کنید.



شکل ۲-۲۱- قرار گرفتن منشور روی پایه و افزودن آب برای برقراری ارتباط آن با قاعده منشور



شکل ۲-۲۰- تخلیه آب داخل ظرف گود

شکل های ۲-۲۰-۲-۲۱-۲۱ آماده سازی آزمون برای انجام آزمون نفوذپذیری

در زمان های $t_1 = 60s$ ، $t_2 = 240s$ ، $t_3 = 540s$ ، $t_4 = 960s$ ، که معادل $1 = (1)^2$ ، $4 = (2)^2$ ، $9 = (3)^2$ و $16 = (4)^2$ دقیقه است میزان نفوذ آب را به داخل منشور گچی به وسیله‌ی مداد نرم به آرامی علامت بزنید (شکل ۲-۲۲). پس از زدن علامت چهارم در دقیقه ۱۶ آزمون پایان یافته است و منشور از روی پایه برداشته می شود. به خطوط رسم شده به ترتیب اندیس های X_1, X_2, X_3 و X_4 داده می شود. به کمک کولیس فواصل بین قاعده منشور X_1 ، X_2 ، X_3 و X_4 را اندازه گیری نمائید و در جدول ثبت نتایج یادداشت کنید. اگر مقادیر نفوذ را با یکدیگر مقایسه نمائید متوجه خواهید شد که مقدار آب نفوذ کرده در دقیقه اول برای تقریبا دو برابر شدن نیاز به چهار دقیقه دارد از شکل ۲-۲۳ نتیجه گیری می شود که نفوذ آب به داخل قالب گچی تابع مجذور زمان (زمان به توان ۲) است . در شکل های ۲-۲۲ الی ۲-۲۴ انجام آزمون به صورت تصویری نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۴



شکل ۲-۲۳



شکل ۲-۲۲

شکل های ۲-۲۲ الی ۲-۲۴ نفوذ آب در آزمون نفوذپذیری گچ به داخل منشور گچی و اندازه گیری مقدار نفوذ با کولیس

آزمون را برای دو نسبت دیگر گچ به آب تکرار و نتایج را با یکدیگر مقایسه نمائید.

لازم به یاد آوری است که در عمل معمولا با کاهش نسبت گچ به آب تخلخل قالب افزایش می یابد و در نتیجه نفوذپذیری آن زیاد می شود. افزایش نفوذ پذیری دلیلی بر تشکیل جداره بیشتر در قالب نیست زیرا آزمون نفوذپذیری با آب خالص انجام می شود در حالی که تشکیل جداره با دوغاب که مخلوطی از آب و مواد اولیه سازنده بدنه است ، ارتباط دارد . با انجام تحقیقات ثابت شده است که ساخته شدن جداره در قالب گچی ضمن اینکه به نوع بدنه و دوغاب آن وابسته است در تخلخل خاصی (تخلخل بهینه) از قالب بیشترین مقدار خود را دارد. کمتر یا بیشتر بودن تخلخل از تخلخل بهینه منجر به کمتر شدن سرعت تشکیل جداره (ساخته شدن جداره با گذشت زمان) می گردد. با روش یافتن تخلخل بهینه یا ضریب نفوذپذیری بهینه در مقاطع بالاتر تحصیلی آشنا خواهید شد.

۲-۵- استحکام خمشی گچ

قالب های گچی به دلیل حمل و نقل و اعمال نیرو در اثر فشار دوغاب (چینی بهداشتی) و یا ماشین های شکل دهی (رولر) باید از استحکام خوبی (در حد مورد نیاز) برخوردار باشند. آگاهی از استحکام و عوامل موثر بر آن برای تولید قالب اهمیت دارد. البته نباید فراموش کرد که نباید توانمندی های دیگر قالب گچی از جمله تشکیل جداره که ناشی از حضور تخلخل (لوله های موئین) در قالب است قربانی استحکام بیش از حد مورد نیاز قالب گردد. این مورد به ویژه در ساخت قالب های مورد استفاده در ریخته گری دوغابی حائز اهمیت است. از عوامل موثر در استحکام قالب گچی می توان به نسبت گچ به آب و دانه بندی پودر گچ اشاره کرد.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- سطل پلاستیکی ۵ لیتری ۱ عدد
 - ۲- استوانه مدرج ۵۰۰ میلی لیتری ۱ عدد
 - ۳- همزن دستی یا الکتریکی
 - ۴- ترازو با دقت ۱ گرم
 - ۵- پودر گچ قالبسازی یا ساختمانی به مقدار ۲۵۰۰ گرم
 - ۶- شیشه تخت پنجره به ابعاد تقریبی $30\text{ cm} \times 40\text{ cm}$
 - ۷- روغن جدایش و قلم مو
 - ۸- کورنومتر (زمان سنج) ۱ عدد
 - ۹- قالب ساخت نمونه به ابعاد داخلی $15\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ (عرض مقطع شکست) $\times 20\text{ mm}$ (طول مقطع شکست) حداقل ۸ عدد
 - ۱۰- کاردک ۱ عدد
 - ۱۱- خشک کن
 - ۱۲- دستگاه استحکام سنج
 - ۱۳- کولیس ۱ عدد
- آزمایش:

قالب های استحکام (۸ عدد) را کاملاً تمیز کنید و سطوح داخل آن ها را چرب نمایید. تکه های قالب را با یکدیگر جفت و آن ها را کاملاً محکم کنید.

۲۰۰۰ گرم پودر گچ قالبسازی یا ساختمانی را با دقت ۱ گرم توزین نمایید. ۱۶۰۰ گرم آب را با استوانه مدرج پیمانه کرده

و داخل سطل بریزید (نسبت گچ به آب انتخابی $\frac{2000}{1600} = 1/25$ می باشد). در ۱۲۰ ثانیه (دو دقیقه) پودر گچ را به داخل آب بپاشید. مخلوط آب و گچ را ۳۰ ثانیه به حال خود رها کنید و سپس به مدت ۹۰ ثانیه با همزن الکتریکی یا ۱۵۰ ثانیه با همزن دستی به هم بزنید. پس از اتمام همزدن با زدن ضربات آرام به دیواره سطل هوای محبوس در دوغاب گچی را مجبور به خارج شدن کنید.

دوغاب گچ را با دقت به ترتیب داخل قالب های (۸ قالب) استحکام بریزید. بعد از گذشت زمان کافی و گیرش گچ سطح آزاد نمونه ها در قالب را پرداخت نمائید. پس از گرم شدن گچ، قالب را باز و نمونه های استحکام را خارج کنید. در صورت نیاز نمونه ها را پرداخت کنید (توجه داشته باشید که فقط سطوح پرداخت می شوند و گوشه ها به هیچ وجه پخ نمی شوند و باید کاملا زاویه ۹۰ درجه خود را حفظ نمایند). نمونه ها حدود یک ساعت در محیط کار می مانند و سپس به خشک کن دمای ۴۵ درجه سلسیوس جهت خشک شدن منتقل می شوند. مدت اقامت نمونه ها در خشک کن حداقل ۲۴ ساعت است اما معیار تشخیص اتمام زمان خشک شدن ثابت شدن وزن نمونه ها می باشد (± 0.5 گرم).

برای تعیین استحکام نمونه ها و محاسبه میانگین استحکام بهتر است اقدام به تهیه جدولی مشابه جدول ۲-۵ نمائید. در شکل ۲-۲۵ یک دستگاه استحکام سنج نسبتا مدرن مشاهده می شود.

استحکام به N/mm^2	ارتفاع به mm			عرض نمونه به mm	طول نمونه به mm	نیرو به N	آزمایش
	میانگین	۳	۲				
							۱
							۲
							۳
							۴
							۵
							۶
							۷
							۸
میانگین استحکام به N/mm^2 (برابر است با مجموع استحکام نمونه ها تقسیم بر تعداد نمونه ها)							



شکل ۲-۲۵ استحکام سنج

نمونه ها را در دستگاه استحکام سنج به گونه ای قرار دهید که طول (اندازه ۲۰ میلیمتری نمونه) مقطع شکست روی شاخک های (تکیه گاه) دستگاه استحکام سنج قرار گیرد. عرض مقطع شکست (اندازه ۱۵ میلیمتری نمونه) به عنوان ارتفاع نمونه منظور می شود. چون سطح مقطع شکست مستطیل است به کمک رابطه ۲-۲ محاسبه مقدار استحکام خمشی صورت می گیرد.

$$\sigma = \frac{3 \times P \times l}{2b \times h^2} \quad (۲-۲)$$

σ = استحکام خمشی به N/mm^2

P = نیروی شکست به N

l = فاصله تکیه گاه به mm

b = طول مقطع شکست نمونه به mm

h = میانگین عرض مقطع شکست نمونه به mm

اندازه گیری ابعاد مقطع شکست را با کولیس انجام دهید و در جدول یادداشت نمایید.
به کمک رابطه ۲-۲ اقدام به محاسبه استحکام تک تک نمونه ها نموده و میانگین استحکام را محاسبه نمایید.

خود آزمایی:

- ۱- آیا با سنگ گچ آشنایی دارید؟ فرمول شیمیایی سنگ گچ چیست؟
- ۲- چند نوع گچ می‌شناسید؟
- ۳- علت استفاده از گچ برای ساخت قالب گچی در صنعت سرامیک چیست؟
- ۴- آزمون‌های مهم گچ را نام ببرید.
- ۵- ابزار و تجهیزات مربوط به آزمون‌های گچ را نام ببرید.
- ۶- چرا پس از ساخت دوغاب گچ به آن ضربات آرام زده می‌شود؟
- ۷- ماکزیمم نسبت گچ به آب را چگونه به دست می‌آورند و هدف از انجام آن چیست؟
- ۸- حلقه ویکات را با ذکر ابعاد رسم نمائید.
- ۹- تعریف سیالیت چیست و چگونه اندازه گیری می‌شود؟
- ۱۰- هدف از اندازه گیری زمان گیرش اولیه گچ چیست؟
- ۱۱- به نظر شما زمان های گیرش اولیه و ثانویه گچ قالبسازی در چه محدوده ای قرار دارد؟
- ۱۲- نفوذ پذیری گچ را توضیح دهید.
- ۱۳- عوامل مؤثر بر نفوذپذیری گچ چیست؟
- ۱۴- استحکام خمشی گچ چگونه اندازه گیری می‌شود؟
- ۱۵- واحد سنجش استحکام خمشی گچ کدام است و برای گچ قالبسازی در چه محدوده ای قرار دارد؟
- ۱۶- آیا شناخت خواص مختلف گچ مفیدند؟

فصل سوم

خواص فیزیکی مواد اولیه پلاستیک و روش‌های اندازه‌گیری آنها

- هدف‌های رفتاری: فراگیر پس از پایان این فصل قادر خواهد بود که:
- ماده اولیه رسی را تا $5 \pm 105^\circ\text{C}$ حرارت دهد، مجدداً وزن کرده درصد رطوبت را به دست آورد.
 - با استفاده از روش ریکه عدد پلاستیسیته را بدست آورد.
 - با استفاده از روش آتربرگ عدد پلاستیسیته آتربرگ را بدست آورد.
 - با استفاده از روش ففرکورن عدد پلاستیسیته ففرکورن را بدست آورد.
 - با توجه به درصد آب کارپذیری ففرکورن گل پلاستیک تهیه کند.
 - گل پلاستیک را به فرم استاندارد انقباض و استحکام خمشی خام شکل دهد.
 - پس از خشک شدن انقباض خام و استحکام خمشی خام را اندازه‌گیری و محاسبه کند.
 - با کمک ویسکوزیومتر روانسازی را انجام دهد.
 - با داشتن درصد روانساز و ویسکوزیته (زمان عبور) نمودار مربوطه را رسم کند.
 - وزن مخصوص دوغاب را اندازه‌گیری کند.
 - pH دوغاب را اندازه‌گیری کند.
 - مقدار تیسکوتروپی دوغاب را اندازه‌گیری کند.
 - انقباض پخت و انقباض کل ماده اولیه را اندازه‌گیری کند.
 - ماده اولیه را حرارت داده، وزن کرده و میزان مواد فرار آن را در دمای 700°C و 1050°C به دست آورد.
 - استحکام خمشی پخت را اندازه‌گیری و محاسبه کند.
 - مقاومت پخت ماده اولیه را اندازه‌گیری کند.
 - دمای خمیری ماده اولیه را اندازه‌گیری کند.
 - جذب آب ماده اولیه پخته را بدست آورد.

۳- خواص و روشهای اندازه‌گیری آنها

همان‌طور که در درس مواد اولیه سرامیک خواندید، مواد اولیه سرامیک به سه دسته پلاستیک، نیمه پلاستیک و غیرپلاستیک تقسیم‌بندی می‌شوند. در مجموعه مواد اولیه پلاستیک که حاوی مینرال‌های کائولینیت، مونت‌موری‌لونیت، ایلیت و ...

هستند کائولین ها ، بالکلی ها و بنتونیت ها می گنجد. با توجه به اهمیت پلاستیسیته در شکل دادن سرامیک ها و مصرف زیاد مواد اولیه پلاستیک در صنایع سرامیک بررسی خواص فیزیکی این مواد اولیه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به وجود وقفه در بررسی خواص مواد اولیه پلاستیک ایرانی ، به نظر می رسد برای پر کردن این خلاء روش های بررسی خصوصیات مواد اولیه به ویژه خواص فیزیکی بیشتر مورد توجه قرار گیرند. آزمون های این آزمایشگاه بیشتر تعیین خصوصیات فیزیکی را پوشش می دهند.

کلاً در آزمون های مربوط به این فصل باید ماده اولیه اگر به صورت پودر نباشد، با استفاده از سنگ شکن و آسیاب تبدیل به پودری گردد که مانده روی الک مش ۱۷۰ (طول چشمه ۹۰ میکرون) آن کمتر از ۱۰٪ باشد.

۱-۳-۱- نمونه برداری

روش عملی

وسایل لازم:

۱- ترازو با دقت ۵ گرم

۲- ماده اولیه به مقدار تقریبی ۷ کیلوگرم (در حالت تحویلی)

۳- دستگاه نمونه بردار جعبه ای

۴- بیلچه

آزمایش: در نمونه برداری مواد جامد به عبارت دیگر کلوخه ای یا پودری روش های مختلفی متداول است. اصولاً نمونه برداری یا به کمک ابزار و وسایل ویژه انجام می گیرد و یا به روش ساده زیر انجام می گیرد [۲]:

«اصول مهم نمونه برداری از ماده در مقادیر زیاد مثلاً، یک آوار کامیون زغال یا سنگ معدن آهن این است که مقدار زیادی نمونه به صورت سیستماتیک از قسمتهای مختلف توده مورد نظر برداریم و سپس آنها را با هم مخلوط کنیم. در صورت لزوم به طور مکانیکی بکوبیم و سپس آنها را توسط بیلچه به صورت مخروط درآوریم. هر بیلچه پر باید بر روی محور مخروط ریخته شود و کسی که این کار را انجام می دهد، باید با قدم زدن در اطراف، خاک را توسط بیلچه در تمام جهات مخروط بریزد، به این ترتیب مطمئن می شویم که نمونه به طور یکنواخت پخش شده است. سپس نوک مخروط را مسطح می کنیم و آن را به چهار قسمت تقسیم می کنیم. دو ربعی را که مقابل هم هستند برمی داریم و مخلوط می کنیم تا مخروط کوچک تری درست شود، دوباره آن را می کوبیم، تا وقتی که نمونه ای با وزن مناسب (مثلاً ۳۰۰g-۲۰۰) به دست آید.

اگر مقدار ماده در حدود ۲-۳ کیلوگرم یا کمتر باشد، مخلوط کردن داخلی با روشی که به (دانه بندی کانی ها) مشهور است انجام می گیرد. ماده ای که به خوبی نرم شده در مرکز یک ورقه بزرگ از مشمع یا ماده ای مشابه گسترده می شود. هر گوشه از ورقه به طرف قطر مشترک کشیده می شود. ارتفاع، به حداقل کاهش پیدا می کند، به این ترتیب ذرات بر روی

هم می‌غلتنند و به طور مداوم ذرات پایینی به بالای توده آورده می‌شوند و در نتیجه اختلاط درونی کاملی به وجود می‌آید. سپس نمونه را به مرکز پارچه می‌غلطانیم، پهن می‌کنیم، و مانند قبل آن را چهار قسمت می‌کنیم. فرآیند را تکرار می‌کنیم تا نمونه کوچک مناسبی به دست آید. نمونه نهایی برای آزمایشگاه باید بین ۲۰۰-۳۰۰g وزن داشته باشد، آن را در یک بطری که منفذی برای ورود هوا نداشته باشد، می‌ریزیم».

عملاً می‌توان مطالب فوق را آن طور که در شکل ۱-۳ آمده است، به صورت ساده انجام داد که به روش نمونه‌برداری دایره-ای معروف است. باید توجه داشت که قبلاً نمونه‌برداری از محموله‌های بزرگ (یک تن تا چند صد تن)، آنگونه که در روش نمونه‌برداری از مواد اولیه آمده است صورت گرفته باشد تا شرایط نمونه‌برداری دایره‌ای مهیا باشد [۳]. در شکل ۲-۳ یک نمونه‌بردار جعبه‌ای نشان داده شده است.

در این فصل که به خواص و روش‌های اندازه‌گیری پرداخته می‌شود مسئله مهم و قابل توجه استفاده از یک ماده اولیه پلاستیک برای انجام کلیه آزمون‌ها در یک گروه می‌باشد. علت این مسئله استفاده از برخی از نتایج در آزمون‌های دیگر است. برای مثال از درصد آب‌کارپذیری ففک‌کورن در آماده‌سازی نمونه‌های سنجش انقباض خام و استحکام خمشی خام استفاده می‌شود. همان‌گونه که در ادامه نیز مجدداً اشاره می‌شود برای انجام آزمون‌ها نیاز به ۸۰۰۰ گرم ماده اولیه است که کلیه آزمون‌های ویژه مواد اولیه پلاستیک مطرح شده در این کتاب را پوشش می‌دهد. از نظر راحتی در برگزاری آزمون‌های مربوط به این فصل آزمایشگاه، توصیه می‌شود به روش زیر عمل شود (توجه داشته باشید که برای کلیه آزمون‌ها احتیاج به ماده اولیه به صورت پودر است پس ماده اولیه باید قبل از خشک شدن به پودر تبدیل شود) از حدود ۸۰۰۰ گرم ماده اولیه در حالت تحویلی با توجه به مقادیر آمده در جدول ۱-۳ نمونه‌برداری شده و در کیسه‌های پلاستیکی یا کاغذی ریخته می‌شوند.

۱- انبوه اولیه ماده آماده نمونه‌برداری

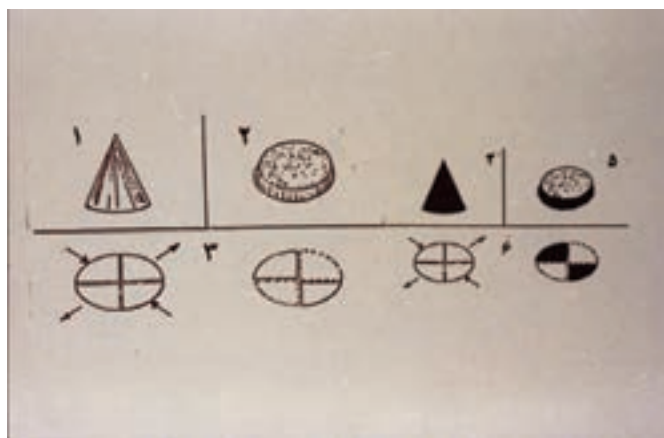
۲- توزیع انبوه اولیه

۳- تقسیم توزیع انبوه اولیه به چهار قسمت و انتخاب دو قسمت روبروی یکدیگر

۴- تبدیل به انبوه نمودن دو قسمت انتخاب شده (انبوه ثانویه)

۵- توزیع انبوه ثانویه

۶- تقسیم توزیع انبوه ثانویه به چهار قسمت و انتخاب دو قسمت روبروی یکدیگر



شکل ۱-۳- روش نمونه‌برداری دایره‌ای



شکل ۳-۲. نمونه بردار جعبه ای

جدول ۳-۱: آزمون‌ها و مقدار ماده اولیه لازم هر آزمون

مقدار تقریبی ماده اولیه به گرم	آزمون
۳۰	رطوبت
۳۰۰	پلاستیسیته به روش ریکه
۳۰۰	پلاستیسیته به روش آتربرگ
۳۰۰	پلاستیسیته به روش ففرکورن
۳۰۰	انقباض خام
۲۰۰۰	استحکام خمشی خام
۳۰۰۰	روانسازی
۵۰۰	وزن مخصوص (وزن لیتر)
۵۰	pH
۳۰۰	تیکسوتروپی
۱۰۰	مواد فرار
۳۰۰	مقاومت پخت
۱۰۰	دمای خمیری

۲-۳- خواص فیزیکی حالت خام

نتایج خواص فیزیکی اندازه گیری شده مواد اولیه خارجی که توسط محققین یا شرکت های فروشنده مواد اولیه تهیه شده و در متن کتاب یا جدول ها با آن ها برخورد می کنید برای مقایسه می باشند [۴]. نتایج آزمون های خود که روی مواد اولیه عمدتاً ایرانی موجود در آزمایشگاه انجام می دهید را با آن ها مقایسه کنید تا نسبت به کیفیت مواد اولیه داخلی بیشتر آگاهی پیدا کنید. اگر تصادفاً در کارگاه دقیقاً یکی از مواد اولیه خارجی هم نام با ماده اولیه موجود در جدول ها را داشتید و یا کاتالوگی از ماده اولیه آزمایشی داشتید باید عملاً نتایج آزمون هائی که روی آن انجام می گیرد با آنچه در کاتالوگ تولید کننده آمده و یا نتایج تحقیق دیگران است تقریباً هم خوانی داشته باشد.

در شکل ۳-۳ دستگاه ففر کورن، استحکام سنج، قالب انقباض و برخی از قالب ها و نمونه های مربوط به آزمون های فیزیکی نشان داده شده است.



شکل ۳-۳- دستگاه های ففر کورن ، استحکام سنج ، قالب ساخت نمونه انقباض و برخی ابزار ویژه تست های فیزیکی

۳-۲-۱- رطوبت: شرایط ماده اولیه برای انجام این آزمون در جدول ۳-۲ با علامت * نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- شرایط مختلف ماده اولیه برای انجام آزمون ها

پخته شده در دمای	خشک شده در	حالت تحویلی*
70.0°C	$10.5 \pm 5^{\circ}\text{C}$	

منظور از نمونه در حالت تحویلی نمونه ای است که در دمای 10.5 ± 5 درجه سلسیوس خشک نشده باشد. نمونه تحویلی می تواند به صورت طبیعی (کلوخه، گل، پودر درشت و پودر ریز) باشد.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ماده اولیه در شرایط تحویلی تقریباً ۳۰ گرم
- ۲- ترازو با دقت ۰/۱ گرم
- ۳- خشک کن
- ۴- بوته چینی در اندازه متوسط ۲ عدد
- ۵- انبر بوته
- ۶- دسیکاتور
- ۷- آبغشان
- ۸- قاشق چینی یا اسپاتول

آزمایش: ابتدا ۲ بوته چینی متوسط تا بزرگ را شسته و سپس با آب مقطر آب‌کشی نمائید. بوته‌ها داخل خشک‌کن و در دمای $5 \pm 10.5^{\circ}\text{C}$ تا ثابت شدن وزن خشک می‌شوند (تکرار توزین بوته خشک شده و خنک شده به دمای محیط در فاصله زمانی ۲۰ دقیقه اختلاف وزنی $0.1 <$ گرم داشته باشد).

ورود و خروج بوته به خشک‌کن با انبر بوته انجام می‌گیرد و برای خنک شدن به دمای محیط همیشه از دسیکاتور استفاده می‌شود. برای اطمینان از خنک شدن بوته می‌توان از پشت دست که در تماس با بوته آورده می‌شود، استفاده کرد. بوته‌های خنک شده تک تک از داخل دسیکاتور به وسیله انبر برداشته و روی کفه ترازو با دقت ۰/۱ گرم جهت توزین قرار داده می‌شوند و وزن آن‌ها یادداشت می‌شود.

ماده اولیه در حالت تحویلی به مقدار تقریبی ۱۰ گرم با قاشق چینی یا اسپاتول به داخل بوته توزین شده افزوده می‌شود و وزن بوته و ماده اولیه یادداشت می‌گردد. بوته به کمک انبر بوته به داخل دسیکاتور هدایت شده و مراحل ذکر شده برای بوته دوم تکرار می‌شود. بوته‌های حاوی ماده اولیه آزمایشی برای خشک شدن آماده‌اند آن‌ها را با استفاده از انبر بوته به خشک‌کنی که قبلاً به دمای $5 \pm 10.5^{\circ}\text{C}$ گرم شده باشد، هدایت نمائید. مدت زمان توقف بوته در خشک‌کن تا ثابت شدن وزن است که معمولاً چند ساعت (۲ الی ۳) به طول می‌انجامد. در صورتی که زمان توقف در خشک‌کن طولانی‌تر شد اشکالی به وجود نمی‌آید. پس از سپری شدن زمان خشک شدن بوته‌ها با استفاده از انبر به دسیکاتور جهت خنک شدن به دمای محیط قرار داده می‌شوند. بوته‌های خنک شده را توزین نمائید و نتایج توزین را در جدولی مشابه جدول ۳-۳ ثبت نمائید.

جدول ۳-۳ ویژه ثبت توزین های آزمون رطوبت

نمونه	وزن بوتله خالی به گرم	وزن بوتله و ماده اولیه به گرم	وزن بوتله و ماده اولیه بعد از خشک شدن به گرم
	W_1	W_p	W_s
۱			
۲			

محاسبات

درصد رطوبت را میتوان بر مبنای خشک و یا تر محاسبه کرد که برای این محاسبات رابطه‌های (۳-الف) و (۳-ب) به کار گرفته میشوند:

$$M_d = \frac{W_p - W_s}{W_s - W_1} \times 100 \quad (۳-الف)$$

$$M_w = \frac{W_p - W_s}{W_p - W_1} \times 100 \quad (۳-ب)$$

W_1 = وزن بوتله خالی به گرم

W_p = وزن بوتله و ماده اولیه در حالت تحویلی به گرم

W_s = وزن بوتله و ماده اولیه خشک شده در 5 ± 10.5 درجه سلسیوس به گرم

M_w = رطوبت بر مبنای تر به درصد

M_d = رطوبت بر مبنای خشک به درصد

در این آزمون اندازه گیری رطوبت بر مبنای خشک محاسبه می شود. از میانگین درصد رطوبت ها بر مبنای خشک محاسبه شده به کمک رابطه (۳-الف) و با استفاده از رابطه (۳-ب) رطوبت بر مبنای خشک نهایی حاصل می شود:

$$\overline{M}_d = \frac{M_{d1} + M_{d2}}{2} \quad (۳-پ)$$

\overline{M}_d = میانگین رطوبت بر مبنای خشک

M_{d1} = رطوبت بر مبنای خشک نمونه ۱

M_{d2} = رطوبت بر مبنای خشک نمونه ۲

مقدار رطوبت موجود در مواد اولیه پلاستیک مختلف متغییر بوده و معمولاً در محدوده ۵-۰ درصد قرار دارد. در مواقعی

ممکن است که رطوبت یک ماده اولیه به ۱۰ درصد هم برسد اما ندرتاً شاهد رطوبت بیش از ۱۰٪ هستیم. معمولاً رطوبت مواد اولیه شسته شده خارجی (کائولین و بالکلی) بالا است و کنترل و اندازه گیری آن‌ها از نظر مخارج حمل و نقل حائز اهمیت است. کاربرد دیگر سنجش رطوبت در ارتباط با مواد اولیه مصرفی در آمیز است که برای جلوگیری از نوسانات در آمیز باید درصد رطوبت موجود در ماده اولیه هنگام ساخت بدنه منظور شود. ضمناً لازم به یادآوری است که مرطوب بودن مواد اولیه نظیر کائولین و بالکلی به ویژه زمانی که به صورت گرانول باشند، به باز شدن (بلانچ شدن) سرعت عمل می‌بخشد و از ایجاد گرد و غبار در هنگام تخلیه در محیط کار جلوگیری می‌کند.

۳-۲-۲- پلاستیسیته

شاید در برخی از کتاب‌ها و یا دروس با واژه پلاستیسیته و تعریف آن برخورد نموده‌اید. در این قسمت به برخی از روش‌های مرسوم اندازه گیری آن پرداخته می‌شود:

۳-۲-۲-۱- روش ریکه (Rieke): این روش غیر دستگامی است و فقط با تشخیص و لمس کردن حالات (درصد رطوبت) مختلف گل پلاستیک قابل ارزیابی است. معیار سنجش تعیین آب لازم حالات خاص از گل است. در این روش عدد پلاستیسیته ریکه معیار مقایسه است که هر چه این عدد بزرگتر باشد دلیل بر بالاتر بودن پلاستیسیته ماده اولیه است. % آب کارپذیری ریکه نیز معیاری دیگر برای مقایسه پلاستیسیته مواد اولیه مختلف است که آن نیز با افزایش پلاستیسیته رشد می‌کند.

در ابتدا برای تجسم و یافتن ارتباط بین نوع ماده اولیه و عدد پلاستیسیته ریکه و % آب کارپذیری ریکه آن در جدول ۳-۴ چند ماده اولیه با یکدیگر مقایسه شده‌اند. سپس در ادامه به تعریف عدد پلاستیسیته و درصد آب کارپذیری ریکه پرداخته می‌شود:

عدد پلاستیسیته ریکه: عبارت از تفاضل % آب دو حالت اول و دوم ریکه است.

حالت اول ریکه: حالتی از گل پلاستیک است که در مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست باشد.

حالت دوم ریکه: حالتی از گل پلاستیک است که در سطح آن به وضوح ترک‌هایی مشاهده شود.

% آب کارپذیری ریکه: درصد آبی است که به ۱۰۰ گرم ماده اولیه یا بدنه سرامیکی خشک زده شود و به صورت گل پلاستیک در آید. اگر این گل به صورت فتیله ای بین کف دستان قرارگیرد حالت چسبیدن به دست رانداشته باشد و به مرز نچسبیدن به دست رسیده باشد.

توجه داشته باشید به دلیل تجربی بودن اندازه‌گیری پلاستیسیته به روش ریکه زمانی نتایج واقعی هستند که آزمون به دفعات و توسط افراد مختلف انجام گرفته باشد و نتیجه نهائی میانگینی از نتایج آن‌ها باشد.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- ۳۰۰ گرم ماده اولیه به صورت پودر

۲- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

۳- خشک کن

۴- کاردک

۵- لوح گچی (صفحه گچی برای آب گیری از گل)

۶- سطل یا پارچ کوچک پلاستیکی ۲ عدد

۷- کاشی لعابدار ۲ عدد

۸- قاشق ۲ عدد

آزمایش: لازم به یادآوری است که دستورالعمل زیر برای گروه‌های دو نفری نوشته شده است و مقدار ۳۰۰ گرم ماده اولیه که باید به صورت پودر باشد، برای دو نفر پیش‌بینی شده است. در غیر این صورت هر نفر برای آزمون ۱۵۰ گرم ماده اولیه نیاز دارد.

جدول ۳-۴: مقایسه % آب کارپذیری و عدد پلاستیسیته ریکه چند کائولین و بالکلی خارجی

ماده اولیه	% آب کارپذیری ریکه	عدد پلاستیسیته ریکه
کائولین چکسلواکی (زدلیتز Ia)	۴۶	۶/۴
کائولین آلمانی (آمبرگ K۰۸)	۴۴	۴/۴
کائولین آلمانی (هیروشاو Ia)	۳۷	۴/۷
بالکلی آلمانی (گروس آلمرودر)	۴۰	۱۱
بالکلی آلمانی (زاتزویر)	۴۹	۲۴
بالکلی آلمانی (ویترشلیکر)	۴۰	۹/۶

۱- زدلیتز معادل همان زدلیتز است.

تقریباً ۳۰۰ گرم ماده اولیه پودر شده را در یک سطل کوچک یا یک پارچ به حجم تقریبی یک لیتر توزین کنید. پس از افزودن ۴۰۰ گرم آب به ماده اولیه با همزدن مخلوط به کمک قاشق آن را به دوغابی همگن تبدیل نمایید. اگر آب افزوده شده برای تبدیل مخلوط به دوغاب کفایت نکرد، با افزودن آب بیشتر آن را دوغابی نمایید. دوغاب همگن شده راروی یک لوح (صفحه) گچی برای جذب آب و تبدیل دوغاب به گل پلاستیک تخلیه نمایید. پس از تبدیل دوغاب به گل پلاستیک آن را به کمک کاردک از روی لوح گچی جمع‌آوری کنید (توجه شود که گچ صفحه گچی

تراشیده و داخل گل نشود). گل پلاستیک را به دو قسمت تقریباً برابر تقسیم نموده و هر سهمیه رایک نفر از افراد گروه برای انجام آزمون در اختیار می گیرد (در گروه یک نفری آزمون با توجه به دو سهمیه گل توسط او دو مرتبه انجام می شود). ابتدا هر نفر از گروه سهمیه گل پلاستیک خود را به شکل استوانه در آورده و آن را روی لوح گچی کمی ورز می دهد. در این موقع گل پلاستیک می تواند دو حالت داشته باشد: یا مقدار آب گل آنقدر زیاد است که هنوز به دست می چسبد یا آب آن کم است و از حالت چسبیدن به دست گذشته است.

در صورت چسبیدن گل پلاستیک به دست زمینه برای تعیین حالت اول ریکه فراهم است پس آنقدر گل را ورز دهید تا با از دست دادن آب حالت اول ریکه (مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست) ظاهر شود. برعکس اگر گل پلاستیک به دست نمی چسبد زمینه تعیین حالت دوم ریکه (ظهور ترک) مهیا است.

حالت اول یعنی با ورز دادن فتیله گل و کاهش آب آن، گل به سمت نچسبیدن به دست متمایل شود. البته باید آنقدر آب گل گرفته شود که به مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست برسد. حالت دوم ریکه با ورز دادن فتیله گل و کاهش آب آن، ظهور واضح اولین ترکها در سطح گل ظاهر می شود.

در موقع رسیدن به هر کدام از حالت ها (اول یا دوم ریکه) تقریباً نصف گل را برای تعیین % رطوبت بر مبنای خشک جدا کنید گل جدا شده را به صورت استوانه ای به قطر تقریبی ۵۰ میلی متر و ارتفاع تقریبی ۵ میلی متر در آورید و روی آن یکی از کدهای آمده در زیر را بنویسید:

IR_۱ حالت اول ریکه (مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست) برای نفر اول گروه

IR_۲ حالت اول ریکه برای نفر دوم گروه

IIR_۱ حالت دوم ریکه (ظهور اولین ترک ها) برای نفر اول گروه

IIR_۲ حالت دوم ریکه برای نفر دوم گروه

چون در این آزمون هدف یافتن % آب بر مبنای خشک در دو حالت (حالت اول و حالت دوم) ریکه است. برای تعیین % آب بر مبنای خشک نیاز به وزن تر و وزن خشک نمونه های IR_۱ , IR_۲ , IIR_۱ و IIR_۲ است.

برای جلوگیری از بروز اشتباه در شناسائی نمونه ها می توانید علاوه بر کدهای اشاره شده شماره گروه خود را نیز روی نمونه ها در جوار کدها بنویسید. سریعاً کدگذاری را انجام دهید و بلافاصله بعد از آن نمونه در حالت تر را با دقت ۰/۱ گرم توزین کنید (قبل از توزین از قرار دادن نمونه در محللهایی که جذب رطوبت دارند برای مثال لوح گچی و یا جای گرم که باعث تبخیر آب نمونه می شود، خوداری نمائید) در جدولی مشابه جدول ۳-۵ وزن تر نمونه ها را وارد کنید.

جدول ۳-۵: جدول پیشنهادی ثبت نتایج گروه اول آزمون ریکه

نفر اول گروه		نفر دوم گروه		
IR_1	IR_2	IIR_1	IIR_2	
				وزن تر به گرم
				وزن خشک به گرم

نمونه توزین شده را برای خشک کردن روی یک صفحه شیشه‌ای یا یک کاشی (ترجیحاً لعاب شده) قرار دهید. هدف از به کار گرفتن کاشی یا شیشه جلوگیری از چسبیدن نمونه به کف یا طبقه‌های خشک کن است که از بروز خطای توزین جلوگیری می‌کند.

با نصفه دیگر گل حالت دیگر ریکه را تعیین کرده و نمونه را بعد از کدگذاری فوراً با دقت ۰٫۱ گرم توزین کنید و وزن آن‌ها را در جدول وارد نمایید. این نمونه‌ها را در جوار نمونه‌های توزین شده قبلی (روی کاشی بدون لعاب یا شیشه) قرار دهید و سپس کاشی یا شیشه را برای خشک شدن در خشک کن و در دمای $5 \pm 10.5^\circ C$ قرار دهید.

اگر ماده اولیه با پلاستیسیته بالا (برای مثال بنتونیت که حاوی مونت موری لونیت است)، مورد آزمون قرار گیرد، نمی‌توان نمونه‌ها را مستقیماً پس از توزین داخل خشک کن قرار داد زیرا خشک شدن سریع باعث متلاشی شدن آنها می‌شود. در این موارد باید ابتدا خشک کردن با احتیاط و در دمای پایین (حدود ۵۰ درجه سلسیوس) انجام گیرد تا پس از سپری شدن مرحله بحرانی ادامه خشک کردن در دمای 5 ± 10.5 درجه سلسیوس انجام گیرد.

پس از گذشت حدود ۳ ساعت نمونه‌های خشک شده را در دسیکاتور قرار داده و پس از خنک شدن به دمای محیط آن‌ها را با دقت ۰٫۱ گرم توزین کنید. با قرار دادن مجدد نمونه‌ها در خشک کن برای مدت یک ساعت و خنک کردن آن‌ها به دمای محیط مجدداً آن‌ها را توزین نمایید. اگر اختلاف در وزن‌ها $0.2 <$ گرم بود نمونه‌ها خشک شده اند در غیر این صورت باید خشک کردن ادامه داده شود. در جدول ۳-۵ وزن خشک نمونه‌ها را وارد کنید.

محاسبات

با استفاده از رابطه (۳-ت) میتوان $\%$ رطوبت بر مبنای خشک برای حالت اول ریکه را محاسبه کرد:

$$M_{d(IR)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (3-t)$$

$M_{d(IR)}$ = رطوبت بر مبنای خشک حالت اول ریکه به $\%$

W_1 = وزن نمونه تر حالت اول ریکه (مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست) به گرم

W_p = وزن نمونه خشک حالت اول ریکه به گرم

با استفاده از رابطه (۳-ث) می توان $\%$ رطوبت بر مبنای خشک برای حالت دوم ریکه را محاسبه کرد:

$$M_{d(IIR)} = \frac{W_3 - W_4}{W_4} \times 100 \quad (3-ث)$$

$M_{d(IIR)}$ = رطوبت بر مبنای خشک حالت دوم ریکه به $\%$

W_3 = وزن نمونه تر حالت دوم (ظهور اولین ترک ها) ریکه به گرم

W_4 = وزن نمونه خشک حالت دوم ریکه به گرم

همان گونه که ملاحظه می شود برای وزن نمونه های حالت دوم ریکه از W_3 و W_4 استفاده شده است و از رابطه

(۳-ث) برای محاسبه $\%$ رطوبت بر مبنای خشک حالت دوم ریکه که در آن به جای W_1 ، W_3 و به جای W_2 ، W_4 قرار داده

شده است ، استفاده می شود.

در نهایت عدد پلاستیسیته ریکه از رابطه (۳-ج) محاسبه می شود:

$$R = M_{d(IR)} - M_{d(IIR)} \quad (3-ج)$$

R = عدد پلاستیسیته ریکه

$M_{d(IR)}$ = $\%$ رطوبت بر مبنای خشک حالت اول ریکه (مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست)

$M_{d(IIR)}$ = $\%$ رطوبت بر مبنای خشک حالت دوم ریکه (ظهور اولین ترک ها)

پس از محاسبه عدد پلاستیسیته ریکه چون در هر گروه هم زمان دو نفر روی یک ماده اولیه آزمون را انجام می دهند پس

به کمک رابطه (۳-چ) نتیجه نهایی که میانگین عدد پلاستیسیته ریکه دو نفر گروه است، به دست می آید:

$$R = \frac{R_{(1)} + R_{(2)}}{2} \quad (3-چ)$$

R = میانگین عدد پلاستیسیته ریکه

$R_{(1)}$ = عدد پلاستیسیته ریکه مربوط به نفر اول گروه

$R_{(2)}$ = عدد پلاستیسیته ریکه مربوط به نفر دوم گروه

۲-۲-۲-۳- روش آتبرگ

این روش نیز مانند روش ریکه غیر دستگاهی بوده و تعیین % آب لازم برای دو حالت از گل پلاستیک معیار سنجش پلاستیسیته است. این روش مشابه سنجش پلاستیسیته به روش ریکه است و عدد پلاستیسیته آتبرگ معمولا نزدیک به عدد پلاستیسیته ریکه می باشد. برای تجسم بهتر و یافتن ارتباط بهتر بین پلاستیسیته و مینرال ها محدوده عدد پلاستیسیته آتبرگ چند مینرال در جدول ۳-۶ آمده است. مسلما ماده اولیه غنی به مینرال با عدد پلاستیسیته آتبرگ بزرگتر دارای عدد پلاستیسیته آتبرگ بزرگتر و در نتیجه پلاستیسیته بیشتر است. معمولا بزرگ بودن عدد پلاستیسیته چه در روش ریکه و چه در روش آتبرگ تایید کننده بیشتر بودن پلاستیسیته ماده اولیه است.

جدول ۳-۶: مقایسه محدوده مرز یکی شدن، ظهور ترک و عدد پلاستیسیته آتبرگ برخی از مینرالها [۵]

مینرال	% آب مرز یکی شدن	% آب ظهور ترک	عدد پلاستیسیته آتبرگ
کائولینیت	۳۰ - ۸۵	۲۰ - ۵۰	۶ - ۳۵
ایلیت	۷۰ - ۹۵	۳۲ - ۴۵	۳۰ - ۵۵
گروه مونت موری لونیت	۱۵۰ - ۶۵۰	۴۰ - ۱۱۰	۱۰۰ - ۵۹۰

برای مفهوم بهتر عدد پلاستیسیته آتبرگ ابتدا به تعریف آن پرداخته می شود:

تفاضل % آب دو حالت یکی «مرز یکی شدن شیار» که آن را حالت اول می نامیم و دیگری «ظهور اولین ترک ها» که حالت دوم نامیده می شود عدد پلاستیسیته آتبرگ است.

مرز یکی شدن شیار: عبارت است از حالتی از گل است که در آن دو قسمت گل پلاستیک بریده شده در اثر تقه (ضربه) خوردن به یکدیگر متصل نشود. در شکل ۳-۴ شیار ایجاد شده بعد از زدن تقه برای تعیین حالت اول آتبرگ بالکلی آباه مشاهده می شود:



شکل ۳-۴ مرز یکی شدن شیار

شکل ۳-۴- شکل ظاهری شیار بعد از زدن تقه در گل بالکلی آباه (مرز یکی شدن شیار در روش آتبرگ)

ظهور اولین ترک ها: عبارت است از حالتی از گل که روی فتیله ای از آن (به قطر ۵ تا ۱۰ میلیمتر) ترک‌هایی به وضوح ظاهر شود. در شکل ۳-۵ ظهور این پدیده برای یک بالکلی آماده مشاهده می شود.



شکل ۳-۵ ظهور اولین ترک‌ها در گل بالکی آماده (ظهور ترک‌ها در روش آتربرگ)

روش عملی

وسایل لازم:

۱- ماده اولیه به صورت پودر ۳۰۰ گرم

۲- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

۳- خشک‌کن

۴- کاردک

۵- لوح گچی (صفحه گچی جهت آگیری گل پلاستیک)

۶- کفه الک یا بشقاب فلزی شبیه آن ۲ عدد

۷- کاشی لعاب دار ۴ عدد

۸- سطل یا پارچ کوچک ۲ عدد

۹- قاشق ۲ عدد

آزمایش: لازم به یادآوری است که دستورالعمل زیر برای گروه‌های دو نفری نوشته شده است و مقدار ۳۰۰ گرم ماده اولیه که باید به صورت پودر باشد، برای دو نفر پیش‌بینی شده است.

تقریباً ۳۰۰ گرم ماده اولیه پودر شده را در یک سطل کوچک و یا یک پارچ به حجم تقریبی یک لیتر توزین کنید. پس از افزودن ۴۵۰ گرم آب شهر به ماده اولیه با قاشق مخلوط را به هم زده و به دوغاب تبدیل کنید. اگر آب افزوده شده برای تبدیل مخلوط به دوغاب کفایت نکرد با افزودن آب بیشتر آن را دوغابی کنید. دوغاب را روی یک لوح (صفحه) گچی تخلیه کنید تا به گل تبدیل شود. سپس گل پلاستیک را از روی لوح گچی به کمک کاردک جمع کنید. گل پلاستیک رابه دو قسمت تقریباً برابر تقسیم نمایید. هر سهمیه گل به یکی از افراد گروه اختصاص می یابد (اگر گروه یک نفره بود آزمون

توسط وی دو مرتبه انجام می شود).

چون در این آزمون هدف یافتن $\% \text{ آب}$ در حالت (مرز یکی شدن شیار) و حالت (ظهور ترک) است، پس برای تشخیص $\% \text{ آب}$ حالت ها به وزن تر و وزن خشک نمونه ها در هر دو حالت نیاز است.

هر نفر گروه سهمیه گل پلاستیک خود را به صورت فتیله در آورده و روی لوح گچی ورز می دهد. یا مقدار آب گل آنقدر زیاد است که هنوز "مرز یکی شدن شیار" نرسیده است و یا اینکه مقدار آب توسط لوح گچی هنگام آب گیری آنقدر گرفته شده است که این حالت سپری شده است و می توان با ورز دادن گل به حالت "ظهور ترک" رسید .

چون در این آزمون دو حالت وجود دارد، پس باید نمونه ها با بکارگیری کد از یکدیگر قابل تفکیک باشند که IA (حالت اول) یا IIA (حالت دوم) را مشخص میکند. برای تفکیک نمونه های نفر اول گروه از نفر دوم نیا ز به آوردن اندیس دیگر در جوار کد است. در نتیجه می توان کدها را به شرح زیر تعریف نمود:

IA₁ حالت اول آتربرگ (مرز یکی شدن شیار) برای نفر اول گروه

IA₂ حالت اول آتربرگ برای نفر دوم گروه

IIA₁ حالت دوم آتربرگ (ظهور ترک) برای نفر اول گروه

IIA₂ حالت دوم آتربرگ برای نفر دوم گروه

برای تشخیص راحت تر نمونه های گروه های مختلف از یکدیگر بهتر است در جوار کد آمده روی نمونه شماره گروه نیز حک شود.

فرض کنیم که گل پلاستیک هنوز به دست می چسبد. آنقدر باید گل ورز داده شود تا با از دست دادن آب میزان چسبیدن آن به دست کم شود تا آمادگی جهت شروع تعیین حالت "مرز یکی شدن شیار" فراهم شود. برای تعیین این حالت گل را به کمک دست به صورت تخت و تقریباً دایره شکل در آورید. گل تخت شده را در کف کفه الک یا بشقاب قرار دهید و به کمک تیغه کاردک در آن شیار ایجاد نمائید. با دسته کاردک سه ضربه آرام به دیواره کفه الک بزنید. اگر در اثر این ضربات با حرکت گل شیار ایجاد شده به یکدیگر رسید و کاملاً بهم چسبید هنوز "مرز یکی شدن شیار" نرسیده است و باید گل جمع شود و با ورز دادن کوتاه کمی آب آن گرفته شود و این مرحله مجدداً با تخت کردن گل، ایجاد شیار و ضربه زدن تکرار گردد و حالت شیار گل بررسی گردد. تکرار این مرحله باید تا زمانی صورت گیرد تا با تپه زدن به دیواره کفه الک شیار گل کمی جمع شود ولی لبه دو نصفه گل به یکدیگر نرسند. پس از رسیدن به چنین حالتی "مرز یکی شدن شیار" رسیده است و قطعه ای از گل باید بعد از کد گذاری سریعاً با دقت $0/1$ گرم توزین وزن آن یادداشت و بدون تلف شدن ذره ای از آن روی قسمت لعاب دار کاشی پخته جهت خشک شدن قرار داده شود. جدولی مشابه جدول ۳-۷ طراحی و وزن تر نمونه را در آن وارد کنید.

جدول ۳-۷: ویژه ثبت وزن نمونه‌های آزمون پلاستیسیته به روش آتربرگ

نفر دوم گروه		نفر اول گروه		
IIA_2	IA_2	IIA_1	IA_1	
				وزن تر به گرم
				وزن خشک به گرم

لازم به توضیح است که برای رسیدن به حالت اول آتربرگ ممکن است نیاز به ورز دادن گل باشد (زمانی که آب گل زیاد است) و یا نیاز به افزودن آب به گل (زمانی که در اثر ورز دادن زیاد آب گل بیش از اندازه گرفته شده است) باشد. چون در صد آب مرحله دوم آتربرگ (ظهور ترک) از درصد آب حالت اول (مرز یکی شدن شیار) کمتر است پس باید آب گل به صورت فتیله در آمده با ورز دادن آن آنقدر گرفته شود تا اولین ترک‌ها در سطح آن ظاهر گردد. در این زمان بعد از جدا کردن قطعه‌ای از گل، کد گذاری و توزین آن برای تعیین درصد رطوبت با دقت ۰/۱ گرم اقدام و وزن را در جدول ۳-۷ یادداشت کرد. قطعه توزین شده در کنار گل مرحله اول آتربرگ روی سطح لعاب دار کاشی قرار داده می‌شود. نمونه‌های توزین شده به همراه کاشی برای خشک شدن به داخل خشک کن هدایت و در دمای 50 ± 10.5 درجه سلسیوس تا ثابت شدن وزن (تقریباً ۳ ساعت) خشک می‌شوند (معیار تشخیص پایان خشک شدن ثابت شدن وزن است). در جدول ۳-۷ وزن خشک نمونه‌ها را ثبت کنید. توجه داشته باشید، همان گونه که در آزمون ریکه نیز اشاره شد، برای خشک کردن نمونه با پلاستیسیته بالا نظیر بنتونیت باید برای جلوگیری از متلاشی شدن نمونه در هنگام خشک کردن ابتدا آن را در دمای پائین (حدود ۵۰ درجه سلسیوس) و سپس در دمای نهائی خشک کرد.

لازم به یادآوری است که حالت دوم آتربرگ و ریکه مشابه یکدیگر می‌باشند. پس در صورت انجام آزمایش روی یک ماده اولیه عملاً باید در صد رطوبت بر مبنای خشک حالت دوم ریکه و حالت دوم آتربرگ تقریباً مشابه یکدیگر باشند.

محاسبات

نحوه محاسبه در صد رطوبت بر مبنای خشک حالت‌های آتربرگ مشابه روش ریکه است.

با استفاده از رابطه (۳-ح) میتوان % رطوبت بر مبنای خشک برای حالت اول آتربرگ را محاسبه کرد:

$$M_{d(IA)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (3-ح)$$

% رطوبت بر مبنای خشک حالت اول آتربرگ به $M_{d(IA)}$

W_1 = وزن نمونه تر حالت اول آتبرگ (مرز یکی شدن شیار) به گرم

W_p = وزن نمونه خشک حالت اول آتبرگ به گرم

با استفاده از رابطه (۳-خ) می توان $\%$ رطوبت بر مبنای خشک حالت دوم آتبرگ را محاسبه نمود.

$$M_{d(IIA)} = \frac{W_p - W_f}{W_f} \times 100 \quad (3-خ)$$

$M_{d(IIA)}$ = رطوبت بر مبنای خشک حالت دوم آتبرگ به $\%$

W_p = وزن نمونه تر حالت دوم (ظهور اولین ترک ها) آتبرگ به گرم

W_f = وزن نمونه خشک حالت دوم آتبرگ به گرم

همان گونه که ملاحظه می شود برای وزن تر و خشک نمونه های حالت دوم آتبرگ از W_p و W_f استفاده شده است.

رابطه (۳-خ) برای محاسبه $\%$ رطوبت بر مبنای خشک حالت دوم آتبرگ است که در آن به جای W_1 ، W_p و به جای

W_2 ، W_f قرار داده شده است.

برای محاسبه عدد پلاستیسیته آتبرگ از رابطه (۳-د) استفاده میشود.

$$A = M_{d(A)} - M_{d(IIA)} \quad (3-د)$$

A = عدد پلاستیسیته آتبرگ

$M_{d(A)}$ = $\%$ رطوبت بر مبنای خشک "مرز یکی شدن شیار"

$M_{d(IIA)}$ = $\%$ رطوبت بر مبنای خشک "ظهور ترکها"

با استفاده از رابطه های بالا هر نفر از گروه عدد پلاستیسیته آتبرگ را محاسبه می کند. به کمک رابطه (۳-ذ) میانگین

عدد پلاستیسیته آتبرگ دو نفر گروه حاصل می شود که عدد پلاستیسیته نهائی آتبرگ ماده اولیه است.

$$A = \frac{A_{(1)} + A_{(2)}}{2} \quad (3-ذ)$$

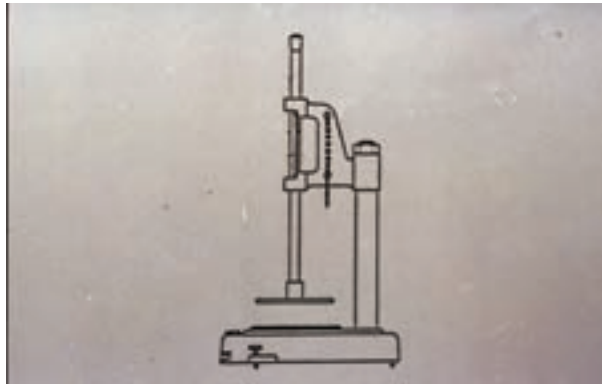
A = میانگین عدد پلاستیسیته آتبرگ

$A_{(1)}$ = عدد پلاستیسیته آتبرگ نفر اول گروه

$A_{(2)}$ = عدد پلاستیسیته آتبرگ نفر دوم گروه

۳-۲-۲-۳- روش ففرکورن

روش دستگاهی ففرکورن یکی از روش‌های اندازه‌گیری است که ضمن ساده بودن دستگاه و روش سنجش، نتایج سنجش پلاستیسیته توسط آن رضایت بخش است. با این دستگاه مستقیماً پلاستیسیته اندازه‌گیری نمی‌شود بلکه % آب مناسب برای ماده اولیه جهت رسیدن به حالت خاص شکل‌پذیری را تعیین می‌کند. پس این امکان فراهم می‌شود که با این دستگاه پلاستیسیته مواد اولیه مختلف اندازه‌گیری شود و در نتیجه امکان مقایسه پلاستیسیته آن‌ها با یکدیگر فراهم گردد. در شکل ۳-۶ دستگاه ففرکورن نشان داده شده است.



شکل ۳-۶- دستگاه ففرکورن برای سنجش پلاستیسیته (۶)

ثابت های دستگاه ففرکورن عبارتند از:

الف: وزن وزنه سقوط که با دسته مربوطه ۱۱۹۰ گرم است.

ب: ارتفاع کف وزنه سقوط از محل قرار گرفتن نمونه که ۱۸۵ میلی‌متر است.

پ: نمونه استوانه‌های به قطر ۳۳ میلی‌متر و ارتفاع ۴۰ میلی‌متر از ماده اولیه آزمایشی که توسط نمونه‌ساز (استوانه‌ای تو خالی ساخته می‌شود).

در این روش هدف یافتن مقدار آبی است که به ۱۰۰ گرم ماده اولیه خشک شده در $5 \pm 10.5^{\circ}\text{C}$ افزوده می‌شود تا ارتفاع ۴۰ میلی‌متری نمونه ساخته شده از آن در اثر سقوط وزنه دستگاه فشرده شده و ۱۶ میلی‌متر گردد که این مقدار آب معروف به "% آب کارپذیری ففرکورن" است.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- ماده اولیه در حالت تحویلی (به صورت پودر) و یا خشک شده در $5 \pm 10.5^{\circ}\text{C}$ به مقدار تقریبی ۳۰۰ گرم

۲- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

۳- خشک‌کن

۴- روغن مایع (روغن موتور یا روغن خوراکی) به مقدار کم

۵- کولیس ۱ عدد

۶- دستگاه ففر کورن با نمونه ساز مربوطه (شکل ۳-۷)

۷- لوح گچی (صفحه گچی برای آب گیری از گل) ۱ عدد

۸- سطل کوچک پلاستیکی یا پارچ پلاستیکی اعداد

۹- کاردک ۱ عدد

۱۰- استوانه مدرج یا بشر ۱ عدد

۱۱- قاشق فلزی ۱ عدد

۱۲- کاشی لعاب دار پخته یا شیشه پنجره در اندازه ابعاد کاشی ۱ عدد



شکل ۳-۷- دستگاه ففر کورن و نمونه ساز

شرح آزمایش: مقدار تقریبی ۳۰۰ گرم از ماده اولیه آزمایشی پودر شده را در ظرفی (پارچ یا سطل) پلاستیکی به حجم تقریبی ۱۰۰۰ میلی لیتر یا بیشتر وزن کنید. به کمک یک بشر یا استوانه مدرج به مقدار تقریبی ۳۰۰ میلی لیتر آب شهر به پودر بیفزائید. به وسیله یک قاشق ماده اولیه و آب را مخلوط کنید (مخلوط باید به صورت دوغابی درآید. در صورتی که

دوغابی نشد، باید به آن مقداری آب اضافه شود تا به دوغابی همگن با سیالیت مناسب تبدیل شود). دوغاب همگن تهیه شده باید برای آب‌گیری روی یک لوح گچی (صفحه گچی) تمیز تخلیه شود. پس از جذب مقداری از آب دوغاب و تقریباً به گل تبدیل شدن دوغاب به کمک یک کاردک یا دست گل پلاستیک را از روی لوح جدا کنید و کمی آن را روی لوح ورز دهید. زمانی که احساس شود که گل پلاستیک دیگر به دست نمی‌چسبد و قابلیت شکل‌پذیری پیدا کرده است گل را به شش قسمت کنید، با استفاده از نمونه‌ساز دستگاه ففرکون اقدام به ساختن اولین نمونه از یکی از قطعه‌ها کنید (داخل نمونه‌ساز قبلاً با روغن بزرگ یا روغن موتور و غیره باید چرب شود). محل استقرار نمونه در دستگاه ففرکون همچنین سطح زیرین وزنه سقوط را روغن بزنید. نمونه را در جایگاه خود در دستگاه قرار داده و ضامن وزنه سقوط را آزاد کنید تا وزنه روی نمونه سقوط کند.

ارتفاع (ارتفاع ثانویه = ارتفاع گل بعد از سقوط وزنه) گل پلاستیک را پس از سقوط وزنه به کم کولیس اندازه‌گیری کنید (ارتفاع نمونه قبل از سقوط وزنه ۴۰ میلی‌متر است). چون هدف از انجام آزمون مشخص نمودن % آب گل پلاستیک در ارتفاع‌های ثانویه ۱۲ و ۱۶ میلی‌متر است پس دو حالت می‌تواند اتفاق بیفتد:

۱- ارتفاع ثانویه کمتر از ۱۶ و ۱۲ میلی‌متر است که با ورز دادن نمونه، آب‌گیری و اندازه‌گیری مجدد ارتفاع ثانویه به کمک دستگاه ففرکون اقدام جهت رسیدن به ارتفاع‌های ثانویه ۱۲ و ۱۶ میلی‌متر می‌شود.

۲- ارتفاع ثانویه بیشتر از ۱۶ میلی‌متر است که با افزودن آب، ورز دادن و آزمایش توسط دستگاه تلاش می‌شود ارتفاع‌های ثانویه ۱۲ و ۱۶ میلی‌متر حاصل گردد.

پس از رسیدن به ارتفاع ثانویه مطلوب (۱۶ و ۱۲ میلی‌متر) بی‌درنگ آزمون‌تر را پس از کدگذاری با ترازوی ۰/۱ گرم دقت توزین شده و وزن آن در جدولی مشابه جدول ۳-۸ یادداشت نمایید. آزمون پس از توزین روی قسمت لعاب خورده یک کاشی پخته یا شیشه پنجره قرار داده می‌شود. آزمون را با سایر قطعات گل انجام دهید تا به ارتفاع مطلوب برسند. هر آزمون پس از رسیدن به ارتفاع مورد نظر بلافاصله توزین و در کنار آزمون اولی قرار می‌گیرد. پس از انجام ۶ آزمون، کل آزمون‌ها در خشک‌کن در دمای $5 \pm 105^{\circ}\text{C}$ تا ثابت شدن وزن خشک می‌شوند. پس از ۲۴ ساعت آزمون‌های خشک شده را از خشک‌کن خارج نموده و پس از خنک شدن به دمای محیط آن‌ها را با دقت ۰/۱ گرم توزین نمایید و وزن آن‌ها را در جدول در جوار وزن‌های تر یادداشت کنید.

در مجموع برای ماده اولیه آزمایشی سه مرتبه عدد پلاستیسیته ففرکون « و سه مرتبه » % آب کارپذیری ففرکون انجام می‌گیرد. نتیجه نهایی از میانگین سه نتیجه حاصل می‌شود و ارائه داده می‌شود. پس تعداد نمونه‌ها ۶ عدد است که برای تمیز دادن آنها از یکدیگر باید آن‌ها با شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ و احتمالاً شماره گروه کدگذاری نمایید.

جدول ۳-۸: جدول پیشنهادی ویژه ثبت نتایج آزمون ففرکورن

شماره نمونه	ارتفاع اولیه mm به h_1	ارتفاع ثانویه mm به h_p	وزن تر W_w به g	وزن خشک W_d به g	رطوبت M_d بر مبنای خشک به %
۱	۴۰	۱۶			
۲	۴۰	۱۲			
۳	۴۰	۱۶			
۴	۴۰	۱۲			
۵	۴۰	۱۶			
۶	۴۰	۱۲			

با استفاده از روابط (۳-ر) و (۳-ز) می توان % آب بر مبنای خشک برای ارتفاع های ثانویه ۱۶ و ۱۲ تک تک آزمون ها را محاسبه کرد:

$$M_{d(16)} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (3-r)$$

$$M_{d(12)} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (3-z)$$

$M_{d(16)}$ = درصد رطوبت بر مبنای خشک نمونه در ارتفاع ثانویه ۱۶ mm (درصد آب کارپذیری ففرکورن)

$M_{d(12)}$ = درصد رطوبت بر مبنای خشک نمونه در ارتفاع ثانویه ۱۲ mm (عدد پلاستیسیته ففرکورن)

W_w = وزن تر نمونه به گرم

W_d = وزن خشک نمونه به گرم

در جدول ۳-۹ مقایسه "عدد پلاستیسیته ففرکورن" و "درصد آب کارپذیری ففرکورن" چند ماده اولیه آمده است. نتایج سنجش پلاستیسیته ماده اولیه آزمایشی خود را با پلاستیسیته مواد اولیه موجود در جدول مقایسه و در باره زیاد ، متوسط

یا کم بودن پلاستیسیته نمونه آزمایشی بحث نمائید.

جدول ۳-۹: مقایسه عدد پلاستیسیته و درصد آب کارپذیری چند کائولین و بالکلی خارجی و داخلی به روش ففرکون

ففرکون		ماده اولیه
عدد پلاستیسیته	% آب کارپذیری	
—	۴۸	کائولین زدلیتز Ia
—	۴۴	کائولین آمبرگ K۰۸
—	۴۳	کائولین هیرشاو Ia
۴۳	—	بالکلی چرب گروس آلمرودر
۷۲	۵۲	بالکلی زاتزویر
۵۱	۴۳	بالکلی ویتزشلیکر
۲۵ - ۴۰	۲۲ - ۳۵	کوارتز رُسی زنوز نشسته
۴۲ - ۴۷	۳۹ - ۴۴	کوارتز رُسی زنوز شسته
۳۲ - ۴۰	۳۰ - ۳۶	بالکلی آباده (SPV)
۲۵ - ۴۵	۲۲ - ۴۰	بالکلی طبس

۳-۲-۳- انقباض خام (خشک): انقباض خام (خشک) به صورت محسوس در مواد اولیه پلاستیک سرامیک دیده

می شود و به ویژه هر چه ماده اولیه پلاستیسیته بیشتری داشته باشد، معمولاً این پدیده تشدید می شود. همانطور که می دانید عمدتاً ریزی و ورقه‌ای شکل بودن ذرات مینرال‌های رسی در مواد اولیه پلاستیک باعث انقباض خام آن می شوند. مواد اولیه پلاستیک به همراه مواد اولیه غیر پلاستیک در یک بدنه در کنار یک دیگر قرار می گیرند. افزودن آب به بدنه برای شکل دادن (ریخته گری دوغابی، جیگر، جولی و...) لازم است. قسمتی از آب به داخل ذرات ریز رس ها نفوذ می نماید و در نتیجه ابعاد قطعه شکل داده شده و از قالب خارج شده ابعاد واقعی نیستند. ذرات رس موجود در قطعه آب جذب شده را به هنگام خروج آب از قطعه از دست می دهند آنچه عامل تغییر ابعاد قطعه شده و در نتیجه ابعاد واقعی قطعه ظاهر می شوند. پس خروج آب جذب شده توسط ذرات رس بدنه عامل اصلی انقباض آن در حین خشک شدن است.

این خاصیت فیزیکی (انقباض خام) زمینه شناخت، تشخیص نوع و کیفیت ماده اولیه را مهیا می سازد و به کمک آن می توان به مرغوبیت و تا حدودی خلوص ماده اولیه پی برد. انجام این آزمون بیشتر از دید آشنایی با این خاصیت فیزیکی نگاشته شده است و باید توجه داشت که مواد اولیه مورد آزمون باید حاوی مینرال‌های رُسی باشند تا خاصیت شکل پذیری و انقباض در حین خشک شدن را داشته باشند. در جدول ۳-۱۰ انقباض خام چند کائولین و بالکلی خارجی و داخلی جهت آشنائی

با مقدار انقباض خشک مواد اولیه پلاستیک و بهره گرفتن از آن ها جهت مقایسه با نتایج آزمون ماده اولیه آزمایشی آورده شده است.

جدول ۳-۱۰: مقایسه انقباض خام چند کائولین و بالکلی خارجی و داخلی

ماده اولیه	% انقباض خام
کائولین زدلیتز Ia	۴/۶
کائولین آمبرگ K۰۸	۳/۸
کائولین هیرشاو Ia	۲/۰
بالکلی گروس آلمرودر	۸/۶
بالکلی زاتزویر	۸/۸
بالکلی ویترشلیکر	۷/۷
کوارتز رُسی زنوز نشسته	۲ - ۴
کوارتز رُسی زنوز شسته	۳ - ۵
بالکلی آباده (SPV ₁)	۵ - ۶
بالکلی طیس	۳ - ۶

اختلاف در درصد انقباض خام مواد اولیه پلاستیک باید از دو جهت مورد توجه قرار گیرد. اول مقایسه اعداد در مجموعه مواد اولیه غیر هم نام (کائولین با بالکلی) که معمولاً برای بالکلی ها به دلیل ریز دانه تر بودن انقباض خام بیشتر است. دوم مقایسه در مجموعه مواد اولیه هم نام (کائولین ها با یکدیگر و بالکلی ها در مجموعه خودشان) که معمولاً انقباض خام بیشتر یک ماده اولیه دلیل پلاستیسیته بیشتر آن ماده اولیه است. اگر چنانچه انقباض خام یک بنتونیت در جوار کائولین ها و بالکلی های آمده در جدول وجود داشت، مسلماً درصد انقباض خام بیشتری را از خود نشان می داد. دلیل این پدیده وجود مینرال سه لایه ای مونت موری لونیت در بنتونیت ها و فوق العاده ریز دانه بودن ذرات رس ها در بنتونیت است که باعث انقباض خام شدید آن می شود. دلیل آوردن محدوده انقباض خام برای مواد اولیه داخلی نوسان در کیفیت ماده اولیه در قسمت های مختلف معدنی است که از آن ماده اولیه برداشت می شود.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- پودر ماده اولیه پلاستیک خشک شده در 5 ± 10.5 °C به مقدار تقریبی ۳۰۰ گرم (از ماده اولیه مورد استفاده در آزمون ففرکورن برای این آزمون استفاده می شود)
- ۲- % آب کارپذیری ففرکورن (در صورتی که عدد ذکر شده موجود نباشد، برای انجام آن احتیاج به ۳۰۰ گرم ماده اولیه

اضافی است). روش یافتن این عدد از طریق انجام آزمون پلاستیسیته به روش ففرکورن است.

۳- ترازو با دقت ۱ گرم

۴- خشک کن

۵- قالب انقباض گچی یا فلزی (۱ عدد) ابعاد قالب باید به گونه‌ای طراحی شود که نمونه ساخته شده توسط آن دارای ابعاد آورده شده در جدول ۱۱-۳ باشد (شکل ۳-۸).

۶- کولیس

۷- فویل پلاستیکی به ابعاد $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ (۳ عدد)

۸- سطل پلاستیکی متوسط ۱ عدد

۹- کاردک ۱ عدد

جدول ۱۱-۳: اندازه ابعاد نمونه انقباض

اندازه ها به میلیمتر		
ارتفاع	عرض	طول
۱۵	۵۰	۵۰



شکل ۳-۸- یک قالب گچی انقباض در جوار یک الک آزمایشگاهی

شرح آزمایش:

- ۱- آماده کردن یک قالب گچی یا فلزی انقباض (این قالب به وسیله کیسه فریزر به ابعاد تقریبی $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ پوشانده می شود).
 - ۲- توزین (دقت ۱ گرم) تقریبی ۳۰۰ گرم ماده اولیه پودر شده و در $5^{\circ}\text{C} \pm 10.5$ خشک شده در یک سطل یا ظرف پلاستیکی.
 - ۳- محاسبه مقدار آب لازم برای ماده اولیه توزین شده با توجه به % آب کارپذیری ففرکورن (ارتفاع ثانویه ۱۶ میلی متر). توجه شود که % آب بر مبنای ۱۰۰ گرم ماده اولیه خشک محاسبه شود.
 - ۴- توزین آب محاسبه شده با دقت ۱ گرم (یا پیمانانه کردن به کمک استوانه مدرج).
 - ۵- مخلوط کردن ماده اولیه پلاستیک و آب به کمک دست در یک سطل کوچک پلاستیکی و تبدیل آن به گل پلاستیک. مخلوط باید کاملاً همگن و یکنواخت شود (از تماس گل با قطعاتی که جذب آب دارند از قبیل صفحه گچی و ... جلوگیری شود).
 - ۶- شکل دادن قطعه ای از گل توسط نمونه ساز دستگاه ففرکورن و اندازه گیری ارتفاع ثانویه آن با دستگاه ففرکورن که در صورت محاسبه صحیح آب باید ۱۶ میلی متر شود.
 - ۷- قرار دادن پلاستیک (کیسه فریزر) در قالب انقباض و شکل دادن نمونه انقباض با گل پلاستیک آماده شده.
 - ۸- جدا کردن اضافه کل قالب به کمک سیم نازک و یا کاردک.
 - ۹- رسم قطرهای قاعده نمونه انقباض، نوشتن کد و شماره گروه و خارج نمودن آن به همراه پلاستیک از داخل قالب و بلا درنگ علامت زدن طول ۵۰ میلی متری به کمک شاخک کولیس روی قطرها.
 - ۱۰- آماده سازی قالب برای ساخت نمونه انقباض بعدی.
- توجه: در موقع ساختن نمونه‌ها اضافه‌های گل پلاستیکی که به کمک کاردک از سطح نمونه انقباض داخل قالب جدا می شود را به باقیمانده گل اضافه نکنید زیرا % آب کارپذیری ففرکورن اضافه‌ها می تواند صادق نباشد.
- ۱۱- شماره گذاری علامت های زده شده روی قطرهای نمونه انقباض ضروری است (در مجاورت قطرهای شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ... آورده شود). در غیر این صورت، در هنگام اندازه گیری انقباض پخت که با این نمونه‌ها انجام می گیرد، دچار اشکال خواهید شد.
 - ۱۲- قراردادن نمونه‌ها در خشک کن و در دمای $5^{\circ}\text{C} \pm 10.5$ تا ثابت شدن وزن.
 - ۱۳- اندازه گیری علامت‌های زده شده روی نمونه‌ها پس از خشک شدن و خنک شدن به دمای محیط به کمک کولیس (معمولاً ۶-۵ ساعت زمان برای خشک شدن نیاز است). اندازه‌ها را در جدولی مشابه جدول ۳-۱۲ یادداشت نمایید.
 - ۱۴- حفظ نمونه‌ها پس از اندازه گیری انقباض خشک برای تعیین انقباض پخت.

جدول ۳-۱۲: جدول پیشنهادی برای ثبت نتایج انقباض خشک

میانگین انقباض خشک به %	انقباض خشک S_d به %	طول به mm		علامت طول	شماره نمونه
		خشک L_d	تر L_w		
			۵۰	۱	۱
			۵۰	۲	
			۵۰	۳	۲
			۵۰	۴	
			۵۰	۵	۳
			۵	۶	

محاسبات

برای محاسبه % انقباض خام (خشک) رابطه (۳-۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\%S_d = \frac{L_w - L_d}{L_w} \times 100 = \frac{50 - L_d}{50} \times 100 = 100 - 2L_d \quad (3-3)$$

S_d = انقباض خشک به %

L_w = طول تر به mm که در اینجا ۵۰ میلی‌متر است.

L_d = طول خشک به mm

نتیجه محاسبات را در جدول ۳-۱۲ ثبت کنید.

۳-۲-۴- استحکام خمشی خام: مواد اولیه پلاستیک سرامیک در تماس با آب شکل پذیر می شوند و با از دست دادن آب فیزیکی (آب اضافه شده برای شکل دادن) و خشک شدن استحکام خواهند داشت. استحکام پدیده جالب و مهمی است زیرا بدون وجود آن عملیات بعد از خشک شدن شامل: پرداخت، حمل و نقل و لعاب زدن در سیستم تک پخت مشکل آفرین خواهد بود.

مینرال های رسی موجود در مواد اولیه به دلیل ریزدانه بودن و داشتن شکل ورقه ای عمدتاً استحکام خام را در قطعه شکل داده شده به وجود می آورند. از این خاصیت فیزیکی می توان برای تشخیص ماده اولیه و بیان کیفیت آن را نیز بهره گرفت.

توجه داشته باشید که ماده اولیه مورد آزمون حتماً حاوی مینرال های رسی باشد و به گروه مواد اولیه پلاستیک تعلق گیرد تا در حالت خشک دارای استحکام باشد. در جدول ۳-۱۳ استحکام خمشی خام چند کائولین و بالکلی مرغوب خارجی جهت مقایسه با کائولین ها و بالکلی های داخلی آمده است.

اگر چنانچه یک بنتونیت در مجموعه مواد اولیه لیست شده در جدول وجود داشت، مسلماً استحکام خمشی خام آن نسبت به سایر مواد اولیه بیشتر بود. دلیل این ویژگی وجود مینرال مونت موری لونیت در بنتونیت است.

جدول ۳-۱۳: مقایسه استحکام خمشی خام چند کائولین و بالکلی خارجی و داخلی

استحکام خمشی خام $N/m^2 = Mpa$	ماده اولیه
۱/۲	کائولین زدلیتز Ia
۰/۸	کائولین آمبرگ K۰۸
۰/۵	کائولین هیرشاو Ia
۴/۲	بالکلی چرب گروس آلمرودر
۳/۰	بالکلی زاتزویر
۵/۴	بالکلی ویتزشلیکر
۰/۲ - ۰/۵	کوارتز رُسی زنوز نشسته
۰/۵ - ۰/۶	کوارتز رُسی زنوز شسته
۲ - ۴	بالکلی آباده (SPV _۱)
۱/۵ - ۴	بالکلی طبس

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- پودر ماده اولیه خشک شده در $5 \pm 10.5^\circ\text{C}$ به مقدار تقریبی ۲۰۰۰ گرم (از ماده اولیه مورد استفاده در آزمون ففرکورن برای این آزمون استفاده می شود)
- ۲- ٪ آب کارپذیری ففرکورن (در صورتی که عدد ذکر شده موجود نباشد برای انجام آزمون ففرکورن نیاز به ۳۰۰ گرم ماده اولیه اضافی است). این عدد از طریق انجام آزمون پلاستیسیته به روش ففرکورن به دست می آید.
- ۳- ترازو با دقت ۱ گرم
- ۴- خشک کن
- ۵- قالب استحکام (گچی) ۱۰ عدد: قالب باید به گونه ای طراحی شود که مشخصات و ابعاد نمونه های استحکام ساخته شده توسط آن با اطلاعات جدول ۳-۱۴ مطابقت داشته باشد. در شکل ۳-۹ تصویر از قالب گچی ویژه ساخت نمونه استحکام خمشی خام نشان داده شده است.
- ۶- کولیس ۱ عدد
- ۷- سطل یا تشتت پلاستیکی متوسط ۱ عدد
- ۸- کاردک یا سیم برش گل ۱ عدد
- ۹- آزمون استحکام (به بند ۵ وسایل لازم مراجعه شود) ۱۶ عدد
- ۱۰- استحکام سنج
- ۱۱- استوانه مدرج با حجم مناسب (۲۵۰، ۵۰۰ یا ۱۰۰۰ میلی لیتری) اعداد
- ۱۲- سینی یا ظرف فلزی مناسب دیگر فلزی (برای خشک کردن ماده اولیه در خشک کن) ۱ عدد

جدول ۳-۱۴: ابعاد نمونه استحکام (سطح مقطع شکست دوزنقه ای است)

اندازه ها به میلی متر			
ارتفاع	عرض	طول	
—	۲۰	۲۴۵	قاعده کوچک
—	۲۵	۲۵۰	قاعده بزرگ
۱۵	—	—	ارتفاع



شکل ۳-۹- قالب گچی ویژه ساخت نمونه استحکام

شرح آزمایش:

- ۱- آماده کردن ۱۰ قالب گچی استحکام خمشی خام
- ۲- توزین (دقت ۱ گرم) تقریباً ۲۰۰۰ گرم ماده اولیه پودر شده و در $5 \pm 10.5^{\circ}\text{C}$ خشک شده در یک سطل یا ظرف پلاستیکی.
- ۳- محاسبه مقدار آب لازم برای ماده اولیه توزین شده با توجه به $\%$ آب کاری پذیری ففرکورن (ارتفاع ثانویه ۱۶ میلی متر). توجه شود که $\%$ آب بر مبنای ۱۰۰ گرم ماده اولیه خشک محاسبه شود.
- ۴- توزین آب محاسبه شده با دقت ۱ گرم یا پیمانانه کردن به کمک استوانه مدرج
- ۵- مخلوط کردن ماده اولیه و آب به کمک دست و تبدیل آن به گل پلاستیک. مخلوط باید کاملاً همگن و یکنواخت شود (از تماس گل با قطعاتی که جذب آب دارند از قبیل صفحه گچی و ... جلوگیری شود).
- ۶- بررسی ارتفاع ثانویه نمونه گل آماده شده با دستگاه ففرکورن که باید ارتفاع ۱۶ میلی متر را داشته باشد.
- ۷- شکل دادن آزمونه ها (۱۶ عدد) به کمک قالب های گچی استحکام و جدا کردن اضافه گل به کمک سیم نازک و یا کاردک (در موقع ساختن آزمونه ها اضافه های گل پلاستیک که از سطح جدا می کنید را به باقیمانده گل اضافه نکنید زیرا امکان تغییر $\%$ آب کارپذیری ففرکورن آن به دلیل استفاده از قالب گچی وجود دارد).
- ۸- توقف کافی تا آزمونه ها با انقباض (کوچک شدن) از دیواره قالب گچی جدا شده و خارج گردند.
- ۹- قراردادن نمونه ها در دمای $5 \pm 10.5^{\circ}\text{C}$ تا ثابت شدن وزن جهت خشک شدن.
- ۱۰- نمونه ها را پس از خشک شدن و خنک شدن تا دمای محیط، تا به کمک دستگاه استحکام سنج تحت آزمون قرار دهید (فقط ۱۰ آزمونه مورد سنجش قرار گیرند و ۶ آزمونه باقیمانده برای سنجش استحکام پخت نگهداری گردند). لازم به یادآوری است که برای جلوگیری از سردرگمی بعدی بهتر است وزن شکست آزمونه ها علاوه بر یادداشت در جدولی مشابه جدول ۳-۱۵ در گوشه آزمونه نیز با مداد نوشته شود. آزمونه های شکسته شده را برای پخت و سنجش استحکام خمشی پخت حفظ کنید. در شکل های ۳-۱۰ و ۳-۱۱ استحکام سنجش های دستی (با افزودن آب به داخل سطل نیروی شکست

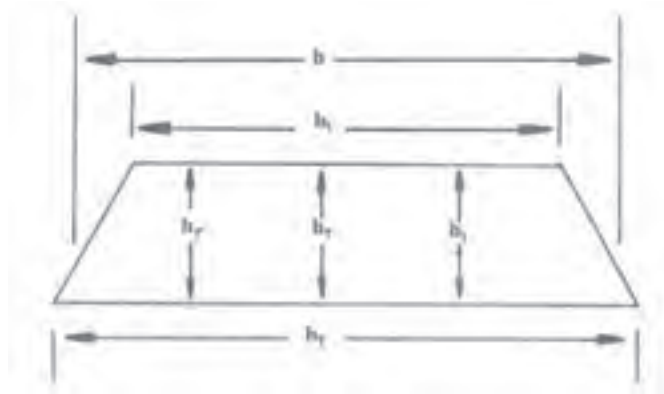
تأمین می شود) و الکتریکی (تأمین نیروی شکست با حرکت وزن های در امتداد یک بازو صورت می گیرد) مشاهده می شوند. بعد از ثبت نیروی شکست در جدول ۳-۱۵ اقدام به اندازه گیری ابعاد آزمون ها با کولیس جهت ثبت در جدول نمایید. در شکل ۳-۱۲ مقطع شکست نمونه و ابعادی که باید اندازه گیری شوند، نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۰- استحکام سنج دستی



شکل ۳-۱۱- استحکام سنج الکتریکی



شکل ۳-۱۲- مقطع شکست آزمونه استحکام و ابعادی که باید اندازه گیری شوند

$$h = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \quad b = \frac{b_1 + b_2}{2}$$

جدول ۳-۱۵- جدول پیشنهادی ثبت نتایج استحکام خمشی خام

استحکام خمشی خام N/mm ² = Mpa	ارتفاع مقطع شکست نمونه mm				عرض مقطع شکست نمونه mm			نیروی شکست N	فاصله تکیه گاه mm	شماره نمونه
	h ₃	h ₂	h ₁	h	b ₂	b ₁	b			
										۱
										۲
										۳
										۴
										۵
										۶
										۷
										۸
										۹
										۱۰
	میانگین استحکام خمشی خام ماده اولیه									

برای محاسبه استحکام خمشی خام، رابطه (۳-س) که قبلا در سنجش استحکام خمشی گچ نیز از آن استفاده شد، به کار گرفته می شود (این رابطه برای سطح مقطع شکست مستطیل است ولی برای سطح مقطع شکست متمایل به دوزنقه که در اینجا برای بهتر خارج شدن آزمون از قالب گچی طراحی شده است، قابل استفاده می باشد و خطای زیادی را در نتیجه نهائی به همراه ندارد).

$$\sigma = \frac{\mu \times P \times l}{\rho b \times h^2} \quad (3-س)$$

σ = استحکام خمشی خام به N/mm^2 یا Mpa

P = نیروی شکست به N

l = فاصله شاخک ها (تکیه گاه ها) که روی آن ها آزمون قرار می گیرد به میلی متر

b = میانگین قاعده ها ی دوزنقه در مقطع شکست به میلی متر

h = میانگین ارتفاع در مقطع شکست به میلی متر (چون ارتفاع در رابطه استحکام به توان ۲ در مخرج قرار می گیرد، نقش

مهمی را در نتیجه نهائی استحکام ایفا می کند. به این دلیل ارتفاع در سه نقطه مقطع شکست به کمک کولیس اندازه گیری

شده، میانگین آن تعیین و از میانگین ارتفاع ها در محاسبه استحکام استفاده می شود).

استحکام خمشی خام آزمون ها را به تفکیک محاسبه و آن ها را در جدول ۳-۱۵ ثبت کنید. با جمع نمودن استحکام های

محاسبه شده و تقسیم آن ها به تعداد آزمون ها میانگین استحکام خمشی خام ماده اولیه را محاسبه و آن را در جدول به

عنوان نتیجه نهایی یادداشت نمایید.

۲-۲-۵- روانسازی (دی فلوکولاسیون):

هدف در اینجا کمک گرفتن از روانساز در ساخت دوغاب بدنه ای حاوی مینرال های رسی و یا یک ماده اولیه رسی و

تبدیل آن به دوغابی با قابلیت ریخته گری دوغابی است. نقش روانساز فراهم نمودن شرایطی است که دوغاب ضمن داشتن

کمترین مقدار آب ویسکوزیته مناسب برای ریخته گری دوغابی را دارا باشد.

دوغاب ها برای رسیدن به ویسکوزیته مناسب برای ریخته گری دوغابی نیاز به آب زیادی دارند (گاهی اوقات $> 50\%$

از وزن دوغاب روانسازی نشده را آب تشکیل می دهد). با افزودن روانساز (دی فلوکولانت) به دوغاب مصرف آب دوغاب به

شدت کاهش می یابد که ناشی از تعویض کاتیونی ذرات رس موجود در دوغاب است. افزودن روانساز به دوغاب کاهش

ویسکوزیته آن را به همراه دارد ولی با افزودن بیش از اندازه روانساز به دوغاب افزایش مجدد ویسکوزیته صورت می گیرد.

پس روانساز برای دوغاب یک مقدار بهینه (اپتیمم) دارد.

یکی از روش‌های ساده سنجش ویسکوزیته دوغاب بکارگیری ویسکوزیومتر ریزشی است که در آن زمان عبور ۱۰۰ میلی لیتر از دوغاب (دوغابی از بدنه یا دوغابی از ماده اولیه رسی) از دهانه خروج با قطر مشخص اندازه‌گیری می‌شود (متداول دهانه خروج ۴ میلی لیتر است).

لازم به یادآوری است که در یک دوغاب سرامیکی آب در مجاورت ماده اولیه و یا مواد اولیه سازنده بدنه قرار دارد، پس ویسکوزیته آب به تنهایی نیز حائز اهمیت است. وقتی به آب ماده اولیه افزوده شود و تبدیل به دوغاب گردد ویسکوزیته آن زیاد شده و با ادامه افزودن ماده اولیه نهایتاً می‌تواند یک گل پلاستیک حاصل شود. پس زمان عبور ۱۰۰ میلی لیتر آب (آب شهر) از یک ویسکوزیومتر ریزشی مهم است که به آن نام "زمان عبور بحرانی" داده می‌شود. اگر چنانچه در یک دوغاب روانسازی شده زمان‌های عبور اندازه‌گیری شده توسط ویسکوزیومتر ریزشی نزدیک به زمان عبور بحرانی (معمولاً زمان عبور ۱۰۰ میلی لیتر آب از یک ویسکوزیومتر ریزشی با دهانه خروج ۴ میلی متر ۱۱ ثانیه است) آن باشد، نمی‌توان با تغییر دادن مقدار روانساز در دوغاب مقدار بهینه روانساز را تعیین نمود. شکل‌های ۳-۱۳ و ۳-۱۴ ویسکوزیومتر ریزشی، دهانه خروج و میله مسدود کننده دهانه خروج آن را نشان می‌دهند.



شکل ۳-۱۳- ویسکوزیومتر ریزشی



شکل ۳-۱۴- دهانه خروج و میله مسدود کننده دهانه خروج ویسکوزیومتر ریزشی

پیش آزمایش روانسازی

تعیین مقدار آب موردنیاز یک ماده اولیه یا بدنه با هدف رسیدن به دوغاب روانسازی شده مطلوب مهم است. زمان عبور دوغاب روانسازی نشده باید از زمان عبور بحرانی ویسکوزیومتر فاصله داشته باشد تا در روانسازی موفق باشیم و بتوانیم به درصد روانساز بهینه (اپتیمم) دست یابیم. برای رسیدن به این هدف انجام پیش آزمایش روانسازی ضروری است و به ما کمک می کنند.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- پودر ماده اولیه خشک شده در 5 ± 10.5 درجه سلسیوس و در دسیکاتور به دمای محیط خنک شده به مقدار ۹۰۰ گرم
- ۲- ترازو با دقت ۰/۱ گرم
- ۳- شیشه در دار با دهانه گشاد (مشابه شیشه مربا یا ظروف مناسب دیگر در دار شیشه ای یا پلاستیکی) ۷ عدد
- ۴- آیفشان
- ۵- بورت ۵۰ یا ۱۰۰ میلی لیتری ۱ عدد
- ۶- ویسکوزیومتر ریزشی ۱ عدد
- ۷- کورنومتر ۱ عدد
- ۸- بشر ۴۰۰ میلی لیتری ۲ عدد
- ۹- میله شیشه ای، پلاستیکی و یا فلزی ۱ عدد
- ۱۰- همزن الکتریکی

آزمایش: ابتدا با اندازه گیری زمان عبور ۱۰۰ میلی لیتر از آب شهر زمان عبور بحرانی ویسکوزیومتر ریزشی مورد استفاده را اندازه گیری کنید. سپس به کمک ترازو و با دقت ۰/۱ گرم در هر شیشه مقدار ۱۲۰ گرم از ماده اولیه پودر و خشک شده در دمای 5 ± 10.5 C و در دسیکاتور به دمای محیط خنک شده را توزین کنید. پس از شماره گذاری شیشه ها از ۱ تا ۷ به آنها طبق جدول ۳-۱۶ آب شهر را با کمک گرفتن از بورت اضافه کنید. با مخلوط کردن مواد داخل شیشه ها به کمک میله شیشه ای یا فلزی و یا همزن الکتریکی آن هارا به دوغاب همگنی تبدیل کنید.

با ویسکوزیومتر ریزشی زمان عبور ۱۰۰ mm دوغاب هر شیشه را اندازه گیری کرده (ویسکوزیومتر باید در هر اندازه گیری تمیز و کاملاً خشک باشد) در ردیف پایین جدول ۳-۱۶، زمان های عبور حاصل شده شیشه های مختلف را ثبت کنید. توجه داشته باشید که در هر مرحله از اندازه گیری زمان عبور باید حتماً ۱۰۰ میلی لیتر دوغاب با جریان ممتد از دهانه خروج ویسکوزیومتر تخلیه گردد تا زمان عبور آن معتبر باشد. برای حالتی از تخلیه دوغاب از ویسکوزیومتر که در آن جریان ممتد

نباشد یا ۱۰۰ میلی لیتر دوغاب کامل تخلیه نشود زمان عبور معتبر نیست و از آن نمی توان برای رسم نمودار استفاده نمود.

جدول ۳-۱۶- مواد تشکیل دهنده شیشه‌های ۱ تا ۷

شماره شیشه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
مقدار ماده اولیه خشک به گرم	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
مقدار آب شهر به ml (میلی لیتر)	۲۲۳	۱۹۶	۱۸۰	۱۶۶	۱۴۶	۱۲۰	۹۸
زمان عبور ۱۰۰ ml دوغاب به ثانیه (s)							

محاسبات

ابتدا باید % آب و % ماده اولیه موجود در هر شیشه به طور جداگانه محاسبه شود. این محاسبه با یک تناسب ساده انجام می‌گیرد.

برای مثال محاسبات برای شیشه شماره ۶ چنین است:

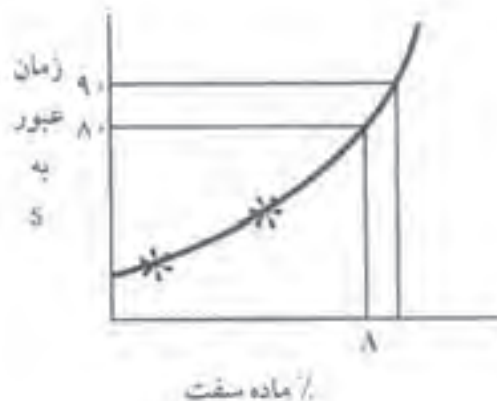
$$\begin{array}{r} \text{ماده خشک} \\ ۱۲۰\text{g} \\ x \\ \hline \text{آب + ماده خشک} \\ (۱۲۰+۱۲۰)\text{g} \\ ۱۰۰ \end{array}$$

$$\text{در صد ماده خشک موجود در دوغاب} = x = \frac{۱۲۰ \times ۱۰۰}{(۱۲۰+۱۲۰)} = ۵۰\%$$

برای محاسبه در صد آب موجود در دوغاب کافی است در صد ماده خشک از عدد ۱۰۰ کم شود:

$$\text{در صد آب موجود در دوغاب} = ۱۰۰ - ۵۰ = ۵۰$$

حال با در دست داشتن در صد ماده سفت و زمان عبور ۱۰۰ ml دوغاب شیشه‌های مختلف در یک سیستم مختصات که محور افقی آن در صد ماده سفت و محور عمودی آن زمان عبور ۱۰۰ میلی لیتر دوغاب است (مشابه شکل ۳-۱۵) می‌توان مشخصات ۷ نمونه آزمایشی ثبت کرد. با کمک گرفتن از نقاط ثبت شده و رسم نمودار به کمک آن‌ها امکان خواندن درصد ماده سفت برای زمان عبور تقریبی ۸۰ تا ۹۰ ثانیه فراهم می‌شود.



شکل ۳-۱۵- نمودار پیش روانسازی

برای خواندن باید چند نقطه در سیستم مختصات مشخص شود (معمولاً برای شیشه‌های ۱ تا ۴ که زمان عبور کمتری دارند امکان تخلیه کامل ۱۰۰ میلی لیتر دوغاب وجود دارد در نتیجه امکان نقطه یابی برای آن‌ها در سیستم مختصات وجود دارد) تا با وصل کردن آن‌ها به یکدیگر نموداری حاصل شود.

برای خواندن درصد ماده سفت برای زمان عبور ۹۰-۸۰ ثانیه توسط نمودار رسم شده کافی است که روی محور عمودی و از زمان عبور ۸۰ و ۹۰ ثانیه خطوطی به موازات محور افقی رسم گردند تا نمودار رسم شده را قطع کنند. از نقاط تقاطع این خطوط با نمودار به موازات محور عمودی دو خط رسم می‌شود تا محور افقی را قطع نمایند. محل تقاطع این خطوط با محور افقی درصد ماده سفت دوغاب را برای زمان عبور ۸۰ و ۹۰ ثانیه مشخص می‌کنند. در شکل ۳-۱۵ درصد ماده سفت خوانده شده (A) برای زمان عبور ۸۰ ثانیه نشان داده شده است که مبنای آزمون روانسازی (ادامه روانسازی) بدون درگیر شدن با مشکلات زمان عبور بحرانی ویسکوزیومتر است.

ادامه روانسازی

در ادامه روانسازی به بررسی تغییرات زمان عبور ماده اولیه آزمایشی برای دو روانساز سودا و سیلیکات سدیم پرداخته می‌شود. در ابتدا مجدداً به زمان عبور بحرانی ویسکوزیومتر ریزشی اشاره می‌شود که توجه به آن در آزمون روانسازی حائز اهمیت است. اگر در تنظیم دانسیته (وزن لیتر) دوغابی که از ماده اولیه آزمایشی ساخته می‌شود بی‌توجهی گردد، در هنگام انجام آزمون روانسازی و افزودن روانساز خطر افتادن در چرخه زمان عبور بحرانی ویسکوزیومتر وجود دارد. این به این معنی است که توسط ویسکوزیومتر ریزشی روند کاهش ویسکوزیته ناشی از افزودن روانساز به دوغاب‌های با دانسیته کم قابل اندازه‌گیری نیست. دلیل آن نیز ظهور زمان عبور برابر (۱۲-۱۱ ثانیه) برای ۱۰۰ میلی لیتر دوغاب ماده اولیه با

درصدهای گوناگون روانساز است. پس برای جلوگیری از این اتفاق نیاز به بکارگیری روشی است که در آن دانسیته دوغاب قبل از افزودن روانساز در محدوده‌ای مناسب قرار داشته باشد تا تاثیر سوء زمان عبور بحرانی ویسکوزیتمتر وارد عمل نشود. همچنین باید تضمین حضور ۱۰۰ میلی لیتر (مورد نیاز برای ویسکوزیتمتر ریزشی) دوغاب نیز وجود داشته باشد. هرچند تنظیم دانسیته دوغاب تجربی است و برای آن قانون مشخصی وجود ندارد ولی اجرای آن ضروری است و در ادامه به روش پیشنهادی ویژه این آزمون پرداخته می شود.

با توجه به مقدار ماده سفت (خشک) A برای ماده اولیه آزمایشی که از شکل ۳-۱۵ در آزمون پیش روانسازی حاصل شد میتوان مقدار X را که وابسته به M دوغاب است را برای آزمون روانسازی از رابطه (۳-ش) بدست آورد:

$$X = M \times \frac{B}{A} = M \times \frac{B}{100 - B} = M \times \frac{100 - A}{A} \quad (3-ش)$$

X = مقدار آب به ml که از طریق محلول‌های مختلف (آب خالص، محلول سودا و محلول سیلیکات سدیم) در برابر M گرم ماده اولیه به دوغاب وارد می شود.

$$A = \% \text{ ماده اولیه حاصل شده از آزمون پیش روانسازی}$$

$$B = 100 - A \quad (\text{زیرا } A+B=100 \text{ است})$$

M = مقدار ماده اولیه به گرم با رعایت ضوابط زیر:

$$A > 45\% \rightarrow M = 13.0g$$

$$35 < A < 45 \rightarrow M = 11.0g$$

$$20 < A < 35 \rightarrow M = 7.0g$$

$$A < 20 \rightarrow M = 4.0g$$

ملاحظه می شود که با کاهش مقدار A مقدار M نیز کاهش می یابد. در رابطه (۳-ش) چون M در نسبت $\frac{B}{A}$ (درصد آب به درصد ماده سفت دوغاب) ضرب می شود تا مقدار آب مورد نیاز (X) مشخص گردد پس M از این نسبت شدیداً

تاثیر پذیر است. با کوچک شدن A مقدار B افزایش می یابد، در نتیجه حاصل ضرب M در نسبت $\frac{B}{A}$ بزرگ شده و حاصل که مقدار آب (X) است، افزایش می یابد. پس نهایتاً اگر M کوچک باشد X بزرگتری حاصل می شود و برعکس.

خلاصه این که در جایی که A خیلی کوچک است (برای مواد اولیه خیلی پلاستیک مانند بنتونیت ها) در دوغاب از پودر بدنه کمتر استفاده می شود ولی در برابر مقدار آب (X) دوغاب افزایش می یابد تا ضمن مناسب شدن ویسکوزیته (فاصله داشتن زمان عبور از زمان عبور بحرانی ویسکوزیتمتر)، دانسیته دوغاب نیز در حد مطلوب باشد و حجم آن نیز بیش از ۱۰۰ میلی لیتر گردد.

روش عملی

الف - ساخت محلول سودا و محلول سیلیکات سدیم

وسایل لازم:

۱- ۱۰۰ گرم پودر سودا صنعتی

۲- بالن ژوژه ۱۰۰۰ یا ۵۰۰ میلی لیتری ۱ عدد

۳- بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری ۱ عدد

۴- استوانه مدرج ۲۰۰ میلی لیتری ۲ عدد

۵- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

۶- خشک کن

۷- بشر ۱۰۰۰ میلی لیتری ۱ عدد

۸- آبفشان

۹- آب شهر

۱۰- مایع سیلیکات سدیم غلیظ

۱۱- قیف پلاستیکی یا شیشه ای متوسط ۱ عدد

ابتدا باید محلول ۵۰ گرم در لیتر سودا (کربنات سدیم) و محلول سیلیکات سدیم با وزن لیتر ۱۳۰۰-۱۲۰۰ گرم در لیتر (دانسیته ۱/۳-۱/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب) تهیه گردد.

۵۰ گرم سودای صنعتی خشک شده در $50 \pm 105^{\circ}\text{C}$ (با خشک نمودن سودا آب تبلورش را از دست می دهد سودا با توقف ۲ ساعت در این دما آب تبلورش را از دست می دهد) با دقت ۰/۱ گرم توزین و با کمک یک قیف مناسب داخل یک بالن ژوژه ۱۰۰۰ میلی لیتری ریخته می شود. با افزودن آب شهر به مقدار تقریبی ۵۰۰ میلی لیتر از طریق قیف به بالن ژوژه و تکان دادن آن با در بسته اقدام به حل نمودن سودا در آب می گردد. با افزودن تقریبی ۴۰۰ میلی لیتر آب دیگر به بالن ژوژه و تکان دادن و مخلوط نمودن محلول در راستای دست یابی به محلولی همگن اقدام می شود. پس از رسیدن به همگنی نسبی با آبفشان به بالن ژوژه تا رسیدن به علامت حک شده روی دهانه باریک آن آب افزوده می شود (توجه شود که قسمت مقعر قوس آب باید با علامت در یک راستا باشد). پس از رسیدن به مرحله نهائی عملاً محلول ۵۰ گرم در لیتر سودا تهیه شده است که هنوز کاملاً همگن نمی باشد. برای همگن شدن محلول کافی است یک بشر تمیز و خشک یک لیتری بر داشته و قسمت عمده (حدود ۷۰۰ میلی لیتر) محلول موجود در بالن ژوژه در آن تخلیه شود. باقیمانده محلول موجود در بالن ژوژه برای همگن شدن با در بسته تکان داده می شود و افزودن مرحله ای محلول تخلیه شده در بشر از طریق قیف به بالن ژوژه انجام می گیرد به نحوی که پس از هر مرحله افزودن محلول بشر به بالن ژوژه در آن بسته و مخلوط

سازی کافی انجام می گیرد. پس از مرحله به مرحله افزودن محلول موجود در بشر به بالن ژوژه تا تخلیه کامل محلول موجود در بشر و تکان دادن نهائی خوب بالن ژوژه محلول ۵۰ گرم در لیتر سودا آماده است. احتمال دارد سطح محلول سودا در دهانه بالن ژوژه به دلیل مقدار کم تلف شدن محلول در همگن سازی و تخلیه آن در بشر به علامت آن نرسد که مشکل آفرین نیست.

برای ساخت محلول سیلیکات سدیم با وزن لیتر ۱۳۰۰-۱۲۰۰ گرم در لیتر از محلول غلیظ آن کافی است که دو استوانه مدرج ۲۰۰ میلی لیتری تمیز و خشک را با هم روی کفه ترازو با دقت ۰/۱ گرم قرار دهید و وزن آن ها را صفر نمائید. در یکی از استوانه های مدرج تقریباً ۱۶۰ میلی لیتر مایع سیلیکات سدیم غلیظ و در استوانه مدرج دوم ۴۰ میلی لیتر آب شهباضافه کنید. استوانه های مدرج حاوی سیلیکات سدیم و آب را روی کفه ترازو که قبلاً برای استوانه های مدرج صفر شده بود، قرار دهید و وزن حاصل را بخوانید و یادداشت نمائید. اگر وزن حاصل بین ۲۶۰-۲۴۰ گرم بود از مخلوط شدن خوب مایع سیلیکات سدیم غلیظ و آب موجود در استوانه های مدرج مایع سیلیکات سدیم با وزن لیتر مورد نظر (۱۳۰۰-۱۲۰۰ گرم در لیتر) حاصل می شود. توجه داشته باشید که در این توزین حجم مایع سیلیکات سدیم و آب تقریباً ۲۰۰ میلی لیتر است. با ضرب شدن این حجم و وزن آن در عدد ۵ حجم تقریبی ۱۰۰۰ میلی لیتر و وزن تقریبی یک لیتر (۱۰۰۰ میلی لیتر) سیلیکات سدیم حاصل می شود. اگر چنانچه در توزین عددی بزرگتر از ۲۶۰ گرم حاصل شد باید مقدار کمی از مایع سیلیکات سدیم غلیظ تخلیه و معادل آن آب به آب موجود در استوانه مدرج حاوی آب افزوده شود ولی در نهایت باید حجم مایع سیلیکات سدیم و آب حدود ۲۰۰ میلی لیتر گردد. اگر با این تغییرات وزن حدود ۲۶۰-۲۴۰ گرم حاصل شد مخلوط آن ها همان مایع سیلیکات سدیم جستجو شده است. در صورتی که وزن مورد نظر حاصل نشد لازم است با رعایت ثابت ماندن حجم تقریبی ۲۰۰ میلی لیتری دو مایع از مایع سیلیکات سدیم غلیظ کم شود و معادل حجمی آن آب به آب موجود در استوانه دیگر افزوده شود تا وزن دو مایع در محدوده وزن لیتر مورد نظر قرار گیرد.

اما اگر در توزین دو استوانه مدرج حاوی سیلیکات سدیم و آب وزن کمتر از ۲۶۰ گرم بود باید مقدار کمی به مایع سیلیکات سدیم غلیظ افزوده شود و معادل آن آب از استوانه مدرج حاوی آب کم گردد به نحوی که در نهایت حجم مایع سیلیکات سدیم غلیظ و آب تقریباً ۲۰۰ میلی لیتر باشد. اگر با این تغییرات وزن حدود ۲۶۰-۲۴۰ گرم حاصل شد که مخلوط آن ها مایع سیلیکات سدیم با وزن لیتر مورد نظر است. در غیر اینصورت باید با تغییر در وزن مجموع مایع سیلیکات سدیم و آب با حفظ تقریبی حجم ۲۰۰ میلی لیتری آن دو به محدوده وزن ۲۶۰-۲۴۰ گرم رسید.

ب) آزمون روانسازی

وسایل لازم:

۱- شیشه دردار با دهانه گشاد (مشابه شیشه مربا) ۱۴ عدد

۲- ۵۰ میلی لیتر محلول سودا (کربنات سدیم) ۵۰ گرم در لیتر

- ۳- ۳۰ میلی لیتر محلول سیلیکات سدیم (آب شیشه) با وزن لیتر ۱۳۰۰ - ۱۲۰۰ گرم در لیتر
- ۴- ویسکوزیتر ریزشی با دهانه خروج ۴ میلی متر و حجم ۱۰۰ میلی لیتر ۱ عدد
- ۵- پیپت ۱۰ میلی لیتری ۱ عدد
- ۶- بورت ۲۵ یا ۵۰ میلی لیتری ۲ عدد
- ۷- بشر ۲۵۰ میلی لیتری ۲ عدد
- ۸- کورنومتر (زمان سنج) ۱ عدد
- ۹- ماده اولیه پودر و خشک شده در $5 \pm 10.5^{\circ}\text{C}$ به مقدار تقریبی ۲۰۰۰ گرم
- ۱۰- خشک کن
- ۱۱- ترازو با دقت ۰/۱ گرم
- ۱۲- آب شهر
- ۱۳- همزن شیشه‌ای یا فلزی
- ۱۴- آبفشان

شرح آزمایش: ابتدا M گرم از پودر ماده اولیه که در $5 \pm 10.5^{\circ}\text{C}$ خشک شده و به دمای محیط خنک شده رادر تک تک شیشه‌ها (در مجموع ۱۴ شیشه) با دقت ۰/۱ گرم توزین کنید. با توجه به مقدار آبی (X) که از رابطه (۳-ش) حاصل شد اقدام به افزودن آب و سایر محلول‌ها (روانسازها) طبق جدول ۳-۱۷ به شیشه‌ها نمایید. برای این منظور قبلاً محلول‌های سودا و سیلیکات سدیم را در بشرهای جداگانه تخلیه کرده سپس محلول سودا را به وسیله بورت و محلول سیلیکات سدیم را با پیپت به شیشه‌ها اضافه کنید. با توجه به معلوم بودن X و محلول‌های روانساز افزوده شده به شیشه‌ها می‌توان مقدار آب باقیمانده مورد نیاز را محاسبه کرد و آن را از طریق بورت به شیشه‌ها افزود. در جدول ۳-۱۷ مقدار ماده اولیه خشک (M) به گرم، حجم محلول‌های روانساز (سودا و سیلیکات سدیم) و مقدار آبی (؟) که باید به شیشه‌ها افزوده شود، آمده است. محتوی شیشه‌های حاوی افزودنی‌ها با استفاده از همزن میله‌ای (شیشه‌ای یا فلزی) مخلوط شده و به مخلوطی همگن تبدیل می‌شود. سپس در شیشه‌ها را بسته به گونه‌ای که کاملاً آب بندی شده و هیچگونه رطوبتی از آن‌ها خارج نشود. شیشه‌ها جهت اثر کردن روانساز (تعویض کاتیون) برای مدت حداقل ۲۴ ساعت در گوشه‌ای قرار داده می‌شوند.

جدول ۳-۱۷: شیشه‌ها وافزودنی‌ها به آن‌ها

شماره شیشه	آب شهر به میلی‌لیتر	محلول سیلیکات سدیم به ml	محلول سودا ۵۰ g/l به ml	ماده اولیه به گرم
۱	X	۰	۰	M
۲	$X - 2 = ?$	۰	۲	M
۳	$X - 4 = ?$	۰	۴	M
۴	$X - 6 = ?$	۰	۶	M
۵	$X - 8 = ?$	۰	۸	M
۶	$X - 10 = ?$	۰	۱۰	M
۷	$X - 12 = ?$	۰	۱۲	M
۸	X	۰	۰	M
۹	$X - 0.5 = ?$	۰/۵	۰	M
۱۰	$X - 1 = ?$	۱/۰	۰	M
۱۱	$X - 1/5 = ?$	۱/۵	۰	M
۱۲	$X - 2 = ?$	۲/۰	۰	M
۱۳	$X - 2/5 = ?$	۲/۵	۰	M
۱۴	$X - 3 = ?$	۳/۰	۰	M

پس از گذشت زمان اثر روانسازها محتوی شیشه‌ها به کمک میله شیشه‌ای یا فلزی تا مخلوط شدن کامل و تبدیل به دوغابی کاملاً همگن بهم زده‌ی شوند. سپس زمان عبور ۱۰۰ میلی‌لیتر دوغاب تک تک شیشه‌ها به کمک ویسکوزیومتر ریزشی اندازه می‌شوند (دقت ثانیه کافی است). برای این منظور با گرفتن دهانه خروج ویسکوزیومتر به کمک انگشت ۱۰۰ میلی‌لیتر از محتوی شیشه در آن تخلیه شده و شیشه با باقیمانده دوغاب در زیردهانه خروج ویسکوزیومتر قرار داده می‌شود. همزمان باروشن کردن زمان سنج (کرونومتر) و برداشتن انگشت اقدام به اندازه‌گیری زمان عبور می‌گردد. توجه شود که تخلیه از خروجی ویسکوزیومتر باید به صورت ممتد باشد و اندازه‌گیری زمان عبور برای دوغاب با جریان ناپیوسته صحیح نیست. زمانی که جریان پیوسته تخلیه دوغاب از حالت ممتد به خروج قطره‌ای آن از ویسکوزیومتر تبدیل شد پایان زمان عبور ۱۰۰ میلی‌لیتر دوغاب است. با بررسی وضعیت داخل ویسکوزیومتر می‌توان از تخلیه کامل دوغاب و قابل قبول بودن زمان عبور ثبت شده اطلاع حاصل کرد. در صورت حضور داشتن قسمتی از دوغاب در ویسکوزیومتر صحت زمان عبور اندازه‌گیری شده مورد تایید نیست و باید مجدداً دوغاب به ویسکوزیومتر برگردانده شود و اندازه‌گیری زمان عبور تکرار گردد. در صورتی

که در تکرار اندازه گیری زمان عبور مجددا تخلیه دوغاب صورت نگیرد عواملی مانند تیکسوتروپی یا خطا در توزین و افزودن افزودنی ها به شیشه ها می تواند عامل آن باشد. در چنین حالتی زمان های اندازه گیری شده از دقت کافی برخوردار نبوده و برای رسم منحنی های مربوطه قابل استفاده نیستند. در جدولی مشابه جدول ۳-۱۸ نتایج را وارد کنید.

جدول ۳-۱۸: جدول پیشنهادی ثبت نتایج روانسازی

شماره شیشه														
مربوط به سیلیکات سدیم							مربوط به سودا							
۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
														% آب
														% ماده اولیه
													۰	% سودا
													۰	% سیلیکات سدیم
														زمان عبور به S

محاسبات و رسم نتایج

برای آسان تر شدن مطالب گفته شده در پیش روانسازی و روانسازی اقدام به حل دو مسئله می شود:

مسئله ۱:

برای ماده اولیه ای درآزمون پیش روانسازی مقدار $A = 55\%$ ماده اولیه برای ۱۰۰ میلی لیتر دوغاب بدون روانساز در محدوده زمان عبور (۹۰-۸۰ ثانیه) شده است. برای مرحله پیش روانسازی و روانسازی شیشه ۲ (جدول ۳-۱۷) این

دوغاب به سوالات زیر پاسخ دهید:

- ۱- % آب دوغاب در پیش روانسازی
- ۲- ماده اولیه خشک (M) شیشه ۲
- ۳- % سودا بر مبنای خشک شیشه ۲
- ۴- % آب شیشه ۲
- ۵- % ماده اولیه خشک شیشه ۲

۶- مقدار آب افزودنی به شیشه ۲

پاسخ ها:

۱- $B=45\%$ است زیرا $(A=B-100)$ می باشد

۲- چون $A > 45\%$ می باشد پس $M=130$ است.

۳- غلظت محلول سودای مصرفی ۵۰ گرم در لیتر است (به جدول ۳-۱۷ مراجعه شود) و در شیشه ۲ نیز ۲ میلی لیتر از این محلول افزوده می شود پس $\%$ سودا بر مبنای ۱۰۰ گرم ماده اولیه خشک به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\frac{2 \times 100 \times 50}{1000 \times 130} = 0.077 \quad \text{\% سودای خشک شیشه ۲}$$

۴- با توجه به معلوم بودن $M(130 \text{ گرم})$ ، $B(45\%)$ و $A(55\%)$ ابتدا به کمک رابطه (۳-۳) مقدار آب (X) محاسبه می شود.

$$X = M \times \frac{B}{A} = 130 \times \frac{45}{55} = 106 \text{g} \quad \text{کل آب شیشه ۲}$$

عملاً باید با محاسبه $\%$ آب و $\%$ ماده سفت کل دوغاب موجود در شیشه شماره ۲ درصدهای قبلی بند ۴ حاصل شود:

کل دوغاب برابر است با ۲۳۶ گرم ($130 + 106$) و $\%$ آب آن عبارت است از:

$$100 \times \frac{106}{236} = 44.9\% \quad \text{آب دوغاب شیشه شماره ۲}$$

۵- برای ۲۳۶ گرم کل دوغاب $\%$ ماده خشک آن قابل محاسبه است:

$$100 \times \frac{130}{236} = 55.1\% \quad \text{ماده سفت خشک دوغاب شیشه شماره ۲}$$

۶- مقدار آب افزودنی به شیشه شماره ۲ که حاوی ۱۳۰ گرم بدنه خشک و ۲ میلی لیتر محلول سودا ۵۰ گرم در لیتر

$$X - 2 = 106 - 2 = 104 \text{ ml} \quad \text{آب برابر با:}$$

مسئله ۲:

برای ماده اولیه با شرایط مطرح شده در مسئله ۱ در صد سیلیکات سدیم خشک بر مبنای ۱۰۰ گرم ماده اولیه شیشه ۱۴ (جدول ۳-۱۷) و مقدار آب افزودنی به آن را در صورتی که وزن لیتر مایع سیلیکات سدیم ۱۲۵۰ گرم در لیتر باشد، محاسبه نماید.

$$\frac{3 \times 100 \times [1/77(1250 - 1000)]}{130 \times 1000} = 1/02 \quad \text{\% سیلیکات سدیم خشک موجود در شیشه شماره ۱۴} \quad \text{پاسخ ها:}$$

لازم به یادآوری است که اعداد ۱/۷۷ و ۱۰۰۰ اعدادی ثابت هستند و برای محاسبات % سیلیکات سدیم سایر شیشه ها نیز ثابت خواهند ماند) درمبحث اندازه گیری وزن لیتر و فرمول آن با ماهیت این ثابت ها آشنا خواهید شد) .
مقدار آب افزودنی به شیشه ۱۴ که حاوی ۱۳۰ گرم بدنه خشک و ۳ میلی لیتر مایع سیلیکات سدیم می باشد، برابر است با:

$$X - 3 = 106 - 3 = 103 \text{ ml آب}$$

اطلاعات (% روانساز و زمان عبور) جدول ۳-۱۸ را جداگانه برای روانسازی ماده اولیه با سودا و روانسازی آن با سیلیکات سدیم در دو سیستم مختصات (شکلهای ۳-۱۶ و ۳-۱۷) به شکل نمودار رسم کنید.



شکل ۳-۱۶- نمودار روانسازی ماده اولیه آزمایشی با سودا



شکل ۳-۱۷- نمودار روانسازی ماده اولیه آزمایشی با سیلیکات سدیم

در جدول ۳-۱۹ داده ها برای آزمون روانسازی چند ماده اولیه آمده است. لازم به یادآوری است که اعداد می توانند به دلیل نوسانات خواص مواد اولیه در محموله های تحویلی مختلف که یک فرآیند طبیعی است، تغییر کنند.

جدول ۳-۱۹: اطلاعات روانسازی چند کاتولین و بالکلی خارجی و داخلی

ماده اولیه	% آب	% ماده اولیه	% سودا	میلی لیتر سیلیکات سدیم*	محدوده زمان عبور به S
کاتولین زدلیتر Ia	۶۰	۴۰	۰/۲	۰/۶	۲۵-۱۵
کوارتز رسی زنون نشسته	۳۵	۶۵	—	۰/۷	۳۰-۲۰
کوارتز زنون شسته	۵۰	۵۰	۰/۳۵	۰/۷	۳۵-۲۵
بالکلی آباده (SPV _۱)	۵۰	۵۰	۰/۲	۰/۷	۳۰-۱۵
بالکلی طبعی	۴۵	۵۵	۰/۷	۰/۷	۴۰-۳۰

* وزن لیتر تقریبی مایع سیلیکات سدیم g/l ۱۲۰۰

۳-۲-۶- وزن مخصوص (وزن لیتر) دوغاب

اندازه گیری وزن مخصوص که واحد آن g/cm^3 است نیاز به ابزار توزین و اندازه گیری دقیق حجم دارد. اندازه گیری حجم که در محاسبه وزن مخصوص به آن نیاز است معمولاً مشکل آفرین می باشد. در کنترل پیوسته دانسیته (وزن مخصوص) دوغاب ها در خط تولید صنایع سرامیک نیاز به دقت بالا نیست بلکه رسیدن آسان و سریع به نتیجه بیشتر حائز اهمیت می باشد. با توجه به حضور کافی دوغاب در خط تولید یا آزمایشگاه محدودیتی از بابت آزمون برای سنجش وزن مخصوص وجود ندارد. در نتیجه می توان اقدام به تعیین وزن لیتر به g/l یا به عبارت دیگر g/cm^3 نمود. افزایش حجم از ۱ به ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب ضمن آسان نمودن فرآیند اندازه گیری وزن مخصوص، به افزایش دقت در نتیجه (وزن مخصوص) نیز کمک می کند.

اندازه گیری وزن مخصوص (وزن لیتر) در خط تولید ابزار مطمئنی در کنترل آماده سازی دوغاب (توزین صحیح مواد اولیه و صحت در حجم آب اضافه شده به آن ها)، شکل دهی (عدم نوسان در ضخامت جداره) و لعاب زنی (یکنواختی ضخامت لعاب) است. چون در این فصل خواص مواد اولیه پلاستیک بررسی می شود، فرصت مناسبی است که ضمن اندازه گیری وزن لیتر (وزن مخصوص) دوغابی از ماده اولیه آزمایشی با روش اندازه گیری این خاصیت آشنا شده و رابطه مهم کاربردی مربوط به آن نیز معرفی شود.

وزن مخصوص یک دوغاب به مواد تشکیل دهنده یعنی ماده اولیه و مایع همراه آن وابسته است. مواد اولیه متداول (کاتولین، بالکلی، فلدسپات، کوارتز و ...) تشکیل دهنده بدنه های سنتی صنعتی سرامیک (صنایع چینی، کاشی و بدل چینی) وزن مخصوصی حدود g/cm^3 ۲/۵ دارند و آب به عنوان مایع همراه مواد اولیه در دوغاب دارای وزن مخصوص g/cm^3 ۱ است.

اگر به وزن مخصوص ها از دید وزن لیتر (وزن ۱۰۰۰ میلی لیتر) نگاه شود محدوده وزن لیتر بین ۱۰۰۰ g/l (آب خالص) تا ۲۵۰۰ g/l (پودر خالص کاملاً متراکم مواد اولیه) قرار دارد. معمولاً در صنایع سنتی صنعتی سرامیک وزن لیتر دوغاب ها از حدود ۱۱۰۰ گرم در لیتر (برای مثال دوغاب های بدون روانساز با وزن مخصوص کم در شستشوی کائولین هنگام ورود به هیدروسیکلون ها) تا ۱۸۰۰ گرم در لیتر (دوغاب های حاوی روانساز بدنه های غنی به بالکلی مانند چینی بهداشتی، بدل چینی و غیره) در نوسان است.

با توجه به وزن مخصوص کم آب در مقابل مواد اولیه مشخص است که هرچه % آب دوغابی بیشتر باشد، وزن لیتر دوغاب کمتر خواهد شد. استفاده از روانساز در دوغاب باعث افزایش وزن لیتر آن می شود. وزن لیتر دوغاب ها ندرتاً بیش از ۱۸۰۰ گرم در لیتر می شود زیرا دوغاب با وزن لیتر بالاتر از این مقدار متمایل به گل پلاستیک شده و از حالت دوغابی خارج می شود.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- ماده اولیه به مقدار تقریبی ۵۰۰ گرم

۲- ترازو با دقت ۱ گرم

۳- آب شهر

۴- قیف شیشه ای یا پلاستیکی کوچک تا متوسط ۱ عدد

۵- بالن ژوژه با حجم ۱۰۰۰ یا ۵۰۰ میلی لیتر ۱ عدد

۶- بشر ۱۰۰۰ میلی لیتری ۱ عدد

شرح آزمایش: با توجه به بالن ژوژه ای که در دسترس است (۱۰۰۰ یا ۵۰۰ میلی لیتری)، معادل حجم آن آب شهر در بشر بریزید. حال به دلخواه آن مقدار ماده اولیه (لزومی ندارد که ماده اولیه قبلاً خشک شده باشد) به بشر بیفزایید تا دوغاب نسبتاً روانی حاصل شود. با همزدن کافی مخلوط دوغابی همگن تهیه نمایید.

بالن ژوژه را پس از شستن و آبکشی در خشک کن و دمای 5 ± 10.5 °C قرار دهید و پس از خشک شدن و خنک شدن به دمای محیط آن را بدون در با دقت ۱ گرم توزین و وزن آن را یادداشت کنید. با کمک گرفتن از قیف دوغاب همگن شده را به داخل بالن ژوژه تا رسیدن به علامت روی گردن آن بیفزایید. بالن ژوژه حاوی دوغاب را توزین و وزن را ثبت کنید (توجه شود جداره خارجی بالن ژوژه عاری از رطوبت و دوغاب بوده و کاملاً خشک باشد). تفاضل بین وزن بالن ژوژه با دوغاب از وزن بالن ژوژه خالی وزن دوغاب حاصل می شود. اگر چنانچه بالن ژوژه ۱۰۰۰ میلی لیتری است که وزن حاصل مستقیماً وزن لیتر را ارایه می دهد. در صورت استفاده از بالن ژوژه ۵۰۰ میلی لیتری با ضرب کردن وزن دوغاب در ۲ وزن لیتر آن حاصل می گردد. با تقسیم وزن لیتر به عدد ۱۰۰۰ وزن مخصوص دوغاب به g/cm^3 حاصل می شود.

به کمک رابطه (۳-ص) وزن ماده سفت موجود در V سانتیمترمکعب دوغاب با وزن W گرم محاسبه می شود:

$$m = \frac{\rho_1}{(\rho_1 - \rho_2)}(W - V) \quad (3-ص)$$

m = وزن ماده سفت موجود در دوغاب سرامیکی به g

ρ_1 = وزن مخصوص ماده اولیه موجود در دوغاب سرامیکی به g/cm^3

ρ_2 = وزن مخصوص مایع موجود در دوغاب سرامیکی به g/cm^3

W = وزن دوغاب سرامیکی با حجم V که هدف تعیین ماده سفت موجود در آن است به g

V = حجم دوغاب سرامیکی با وزن W که هدف تعیین ماده سفت موجود در آن است به cm^3

با توجه به متوسط وزن مخصوص مواد اولیه سنتی صنعتی سرامیکی (کائولین ، بالکلی ، فلدسپات، کوارتز و ...) که معمولاً برابر ۲/۵ گرم بر سانتیمترمکعب است ، آب با وزن مخصوص $1 g/cm^3$ و استفاده از بالن ژوژه یک لیتری (۱۰۰۰ میلی لیتری) ، می توان رابطه (۳-ص) را به رابطه (۳-ض) ساده کرد که رابطه اندازه گیری وزن لیتر است زیرا در آن به جای V عدد ۱۰۰۰ قرار داده شده است:

$$m = \frac{5}{3}(W - 1000) \quad (3-ض)$$

حال اگر وزن دوغاب (یک لیتر دوغاب) اندازه گیری شده را به جای W در رابطه (۳-ض) قرار دهید، می توانید ماده سفت موجود در یک لیتر دوغاب ساخته را محاسبه کنید. ضمناً در فرمول محاسبه وزن لیتری می توان از ثابت های

برای مواد اولیه سفت (با میانگین وزن مخصوص ۲/۵ گرم به سانتیمتر مکعب) موجود در دوغاب $\frac{2/5}{(2/5-1)} = \frac{2/5}{1/5} = \frac{5}{3} = 1/67$

حاوی آب و $\frac{2/3}{(2/3-1)} = \frac{2/3}{1/3} = 1/77$ برای مایع سیلیکات سدیم (با میانگین وزن مخصوص ۲/۳ گرم به سانتی متر مکعب برای سیلیکات سدیم خشک) استفاده نمود.

۳-۲-۷- پ - هاش (pH):

توجه داشته باشید که برای اندازه گیری pH دوغاب های ماده اولیه یا بدنه سرامیکی پ - هاش متر مخصوص وجود دارد. اگر اندازه گیری پ - هاش دوغاب های سرامیکی با استفاده از pH متر معمولی صورت می گیرد باید pH آب دوغاب که پس از عبور دادن دوغاب از کاغذ صافی و گرفتن مواد سفت آن حاصل می شود، اندازه گیری گردد. معمولاً اگر دوغاب سرامیکی در تماس با الکتروود شیشه ای پ - هاش مترهای معمولی بیاید باعث مسدود شدن مجرای ظریف الکتروود شده و ضمن آسیب رساندن به آن نتایج غلط حاصل می شوند.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- پودر ماده اولیه تقریباً ۵۰ گرم (حالت تحویلی و یا خشک شده در 5 ± 10.5 °C)
- ۲- بشر ۲۰۰ میلی لیتری ۱ عدد
- ۳- دستگاه پ - هاش سنج به همراه محلول های بافر
- ۴- قیف بوختر با قطر ۷-۵ سانتیمتر ۱ عدد
- ۵- کاغذ صافی نوار سیاه با قطر ۱۰ سانتی متر ۱ عدد
- ۶- ارلن خلأ با حجم ۱ لیتر ۱ عدد و شیلنگ ویژه اتصال به پمپ خلأ به طول تقریبی ۱ متر
- ۷- پمپ خلأ با توان اعمال خلأ ۱ آتمسفر ۱ عدد
- ۸- آب مقطر به مقدار تقریبی ۱۰۰ میلی لیتر
- ۹- میله شیشه ای یا فلزی ۱ عدد

آزمایش: بشر ۲۰۰ میلی لیتری را پس از شستن با آب مقطر آب کشی کنید. تقریباً ۵۰ گرم از پودرماده اولیه را به بشر بیفزایید و سپس ۷۰-۶۰ میلی لیتر آب مقطر به ماده اولیه اضافه نمایید. با استفاده از میله شیشه ای یا میله تمیز دیگر مخلوط را تا دوغابی شدن به هم بزنید (اگر ماده اولیه با مقدار آب افزوده شده به آن دوغابی نشد مقداری آب مقطر را اضافه کنید). در صورتی که از پ - هاش متر ویژه دوغاب های سرامیکی استفاده نمی کنید باید دوغاب از کاغذ صافی عبور داده شود. عبور مشکل آب دوغاب از کاغذ صافی ایجاب می کند برای رسیدن به هدف از پمپ خلأ قابل اتصال به شیر آب، استفاده گردد. قیف بوختر با کاغذ صافی را روی ارلن خلأ که به وسیله شیلنگ به پمپ خلأ وصل است، قرار دهید و مقداری از دوغاب را روی کاغذ صافی بریزید. با باز نمودن شیر آب و اعمال خلأ شرایط عبور آب دوغاب از کاغذ صافی فراهم می شود و آب دوغاب وارد ارلن خلأ می گردد. با افزودن مقداری دیگر دوغاب روی کاغذ صافی آب گیری را ادامه دهید. با جمع شدن تقریباً ۱۰ میلی لیتر آب در ارلن خلأ امکان اندازه گیری پ - هاش ماده اولیه آزمایشی فراهم است.

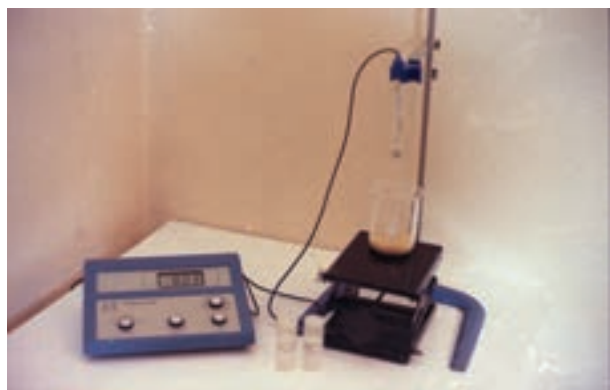
در شکل‌های ۱۸-۳ قیف بوخزر، ۱۹-۳ ارلن خلاء، ۲۰-۳ پمپ خلاء و ۲۱-۳ پ-هاش متر مشاهده می‌شوند.



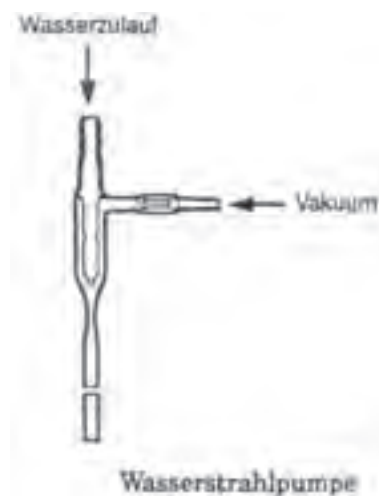
۱۹-۳-ارلن خلاء



۱۸-۳-قیف بوخزر



۲۱-۳-پ هاش متر



۲۰-۳-پمپ خلاء

شکل‌های ۱۸-۳ الی ۲۱-۳ قیف بوخزر، ارلن خلاء، پمپ خلاء و پ-هاش متر

پس از تنظیم پ-هاش متر به کمک محلول‌های بافر الکتروود آن را در آب از کاغذ صافی گذشته فرو برده و عدد پ-هاش آن را بخوانید و یادداشت نمایید. در جدول ۲۰-۳ عدد پ-هاش چند ماده اولیه آمده است. ملاحظه می‌شود که پ-هاش مواد اولیه می‌تواند در محدوده اسیدی (<۷) و یا بازی (>۷) قرار داشته باشد.

PH	ماده اولیه
۸ - ۸/۵	کائولین زدلیتر Ia
۵ - ۶	کائولین اسموز
۹	کائولین کلوئید

۳-۲-۸- تیکسوتروپی:

تیکسوتروپی عبارت است از ظهور حالتی که در آن دوغاب سفت نما (با نمایش ویسکوزیته زیاد) با اعمال نیروی مکانیکی (تکان دادن یا همزدن) از حالت سفت نمائی خارج شده (با نمایش ویسکوزیته کم) و روان شود. حال با رها کردن دوغاب هم خورده برای مدتی مجدداً سفت نمایی (افزایش ویسکوزیته) ظاهر می شود که با همزدن مجدد دوباره روانی (کاهش ویسکوزیته) دوغاب به وقوع می پیوندد. این پدیده اکثراً در بنتونیت ها و مواد اولیه ای که حاوی مینرال های سه لایه ای به ویژه مونت موری لونیت هستند، ظاهر می شود.

برای سنجش و اندازه گیری این پدیده پیشنهادها و روش های مختلف ابداع شده است که در این جا یکی از روش های متداول و کاربردی را که نیاز چندانی به تجهیزات پیچیده ندارد، معرفی و دستورالعمل اجرای آن ارائه داده می شود. لازم به یادآوری است که نتایج مربوط به آزمون روانسازی برای انجام این آزمون لازم است.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ویسکوزیتر ریزشی با دهانه خروج ۴ میلی متر و حجم ۱۰۰ میلی لیتر ۲ عدد
- ۲- کرنومتر (زمان سنج) ۲ عدد
- ۳- پودر ماده اولیه در $5 \pm 10.5^{\circ}C$ خشک شده به مقدار تقریبی ۳۰۰ گرم.
- ۴- شیشه دردار با دهانه گشاد و به حجم تقریبی ۵۰۰ میلی لیتر ۱ عدد
- ۵- محلول سودا با غلظت ۵۰ گرم در لیتر تقریباً ۱۰ میلی لیتر
- ۶- مایع سیلیکات سدیم (چسب سیلیکات یا آب شیشه) تقریباً ۱۰ میلی لیتر
- ۷- همزن شیشه ای یا فلزی ظریف ۱ عدد
- ۸- آب شهر
- ۹- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

آزمایش: در یک شیشه دردار و تمیز پس از پارسنگ کردن، مقدار ۲۶۰ گرم از پودر ماده اولیه در $5 \pm 10.5^\circ\text{C}$ خشک شده را با دقت ۰/۱ گرم توزین کنید. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون روانسازی و % روانساز مطلوب (یکی از نتایج روانسازی مطلوب یا روانسازی با سودا و یا روانسازی با سیلیکات سدیم به اختیار انتخاب گردد) برای ۲۶۰ گرم ماده خشک مقدار روانساز را از محلول سودا یا از مایع سیلیکات سدیم تامین و آب شهر مورد نیاز را به شیشه بیفزایید. پس از همزدن کافی مخلوط ماده اولیه، روانساز و آب آن را به یک دوغاب همگن تبدیل کرده و سپس در ظرف را محکم آب بندی نموده و آن را برای اثر کردن روانساز برای حداقل ۲۴ ساعت به گوشه‌ای قرار دهید.

اندازه‌گیری تیکسوتروپی پس از گذشت زمان اثر روانساز صورت می‌گیرد و آن عبارت از اندازه‌گیری زمان عبور ۱۰۰ میلی‌لیتر دوغاب به کمک ویسکوزیومتر ریزشی و در زمان‌های ۱ و ۳۰ دقیقه است.

دو ویسکوزیومتر ریزشی تمیز و خشک را آماده نمائید. در هر کدام از ویسکوزیومترها ۱۰۰ میلی‌لیتر از دوغاب آزمایشی سریع ریخته می‌شود و یکی از کورنومترها به کار انداخته می‌شود که ۳۰ دقیقه بدون توقف روشن می‌ماند. پس از گذشت ۱ دقیقه (۶۰ ثانیه) زمان عبور ۱۰۰ میلی‌لیتر از دوغاب یکی از ویسکوزیومترها با کورنومتر دیگر اندازه‌گیری و یادداشت می‌شود. پس از ۳۰ دقیقه زمان عبور دوغاب موجود در ویسکوزیومتر دیگر اندازه‌گیری و یادداشت می‌شود. زمان عبور مرحله دوم (۳۰ دقیقه) معمولاً طولانی‌تر از زمان عبور مرحله اول (۱ دقیقه) است. این اختلاف معیاری برای تیکسوتروپی دوغاب ماده اولیه است و هر چه زمان عبور مرحله دوم طولانی‌تر باشد، ماده اولیه تیکسوتروپ تر است. از رابطه (۳-ط) برای محاسبه % تیکسوتروپی استفاده می‌شود:

$$\% \text{ تیکسوتروپی (ط-۳)} = \frac{t_p - t_1}{t_p} \times 100$$

t_1 = زمان عبور ۱۰۰ میلی‌لیتر دوغاب بعد از یک دقیقه به ثانیه .

t_p = زمان عبور ۱۰۰ میلی‌لیتر دوغاب بعد از سی دقیقه به ثانیه.

لازم به یادآوری است که در این آزمون به نکته‌ای که باید توجه شود، تخلیه کامل ۱۰۰ میلی‌لیتر دوغاب از ویسکوزیومترها در هر دو مرحله است. ضمناً یادآوری می‌شود اگر دوغابی مخصوصاً در مرحله دوم کامل تخلیه نشد دلیل بر تیکسوتروپی بالای دوغاب است که در این صورت توصیه می‌شود زمان توقف ۳۰ دقیقه به ۱۵ دقیقه برای مرحله دوم تغییر داده شود.

۳-۳- خواص بعد از پخت

۳-۳-۱- مواد فرار در 700°C و 1050°C

بعضی از مواد اولیه سرامیکی دارای پرت حرارتی ناشی از خروج مواد فرار در اثر حرارت از آن‌ها هستند. سوختن مواد آلی

(کربن) در اثر حرارت ، تبدیل به گاز شدن جزئی از مینرال‌های تشکیل دهنده ماده اولیه در اثر دما (مثال آزاد شدن گاز CO_۲ در کربنات‌ها) و یا آزاد شدن آب ملکولی در اثر دما (مثال H_۲O در کائولینیت و) عامل پرت ماده اولیه هستند که چون این پرت در اثر حرارت دادن ماده اولیه صورت می گیرد به آن پرت حرارتی (L.O.I.) گفته می شود . چون پرت همراه با کم شدن وزن است و کاهش وزن در دماهای مشخص صورت می گیرد، پس میتواند اندازه گیری پرت در دماهای مختلف وسیله‌ای برای شناسایی ماده اولیه شود. برای روشن شدن موضوع کاهش وزن (پرت حرارتی) چند مینرال به همراه عامل کاهش وزن که در دمای مشخصی اتفاق می افتد در جدول ۳-۲۱ آورده شده است.

جدول ۳-۲۱- پرت حرارتی (کم شدن وزن) و دمای تقریبی آن برای چند مینرال

مینرال	دمای تجزیه °C	% پرت حرارتی	عامل کم شدن وزن
کائولینیت	۵۰۰	۱۴	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O$
کلسیت	۹۰۰	۴۴	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$
منیزیت	۷۰۰	۵۲	$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$
آلبیت	۱۰۰۰	۰	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \rightarrow Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ماده اولیه خشک شده در $5 \pm 105^\circ C$ تقریباً ۱۰۰ گرم
- ۲- ترازو با دقت ۰/۱ گرم (ترجیحاً ۰/۰۱ گرم)
- ۳- بوتله چینی بزرگ یا لیوان سرامیکی بدون لعاب پخته در حداقل با جذب آب صفر ۲ عدد
- ۴- انبر بوتله
- ۵- دسیکاتور
- ۶- آیفشان
- ۷- آب مقطر
- ۸- اسپاتول
- ۹- خشک کن
- ۱۰- کوره $1100^\circ C$ الکتریکی

۱۱- لاک غلط گیری یا اکسید کروم (برای کدگذاری)

شرح آزمایش: چون روش اندازه گیری پرت حرارتی در دماهای 700°C و 1050°C برای ماده اولیه یکسان است لذا روش آزمون فقط برای 1050°C توضیح داده می شود.

معمولاً از نظر دقت عمل آزمون اندازه گیری پرت حرارتی همزمان در دو بوته انجام می گیرد و میانگین نتایج، نتیجه نهایی است. در صورتی که تولرانس نتایج خیلی زیاد باشد (بیش از ۲۰-۱۰٪) اندازه گیری با یک بوته مجدداً انجام می شود. در صورت وجود تولرانس و ناچاراً اندازه گیری مجدد، نتیجه اندازه گیری دوم با نتیجه ای از نتایج مرحله اول که هم خوانی بیشتر دارد جمع شده و میانگین ساخته می شود.

روش کار برای یک بوته شرح داده می شود ولی باید در عمل همزمان آزمون با دو بوته انجام گیرد.

ابتدا تقریباً ۱۰۰ گرم ماده اولیه (ترجیحاً به صورت پودر) را توزین (دقت ۰/۱ گرم) و آن را برای خشک شدن به خشک کن با دمای $5 \pm 105^{\circ}\text{C}$ منتقل کنید. پس از خشک شدن که تشخیص آن با توزین مکرر ماده اولیه خشک شده و به دمای محیط خنک شده، صورت می گیرد، ماده اولیه را در دسیکاتور به دمای محیط خنک کنید.

یک بوته چینی بزرگ (در صورت موجود نبودن از ظرف سرامیکی بدون لعاب با جذب آب صفرنیز می توان استفاده کرد) را به کمک آب مقطر بشویید (بوته را توسط انبر بوته گرفته و به کمک آفشان روی آن آب بپاشید) و به کمک اکسید کروم یا لاک غلط گیری روی آن علامت گذاری کنید. بوته آب کشی شده را داخل خشک کن و در دمای $5 \pm 105^{\circ}\text{C}$ قرار دهید. پس از خشک شدن بوته را به کمک انبر بوته خارج کرده و آن را به کوره الکتریکی که تا دمای 1050°C گرم شده است، منتقل کنید. پس از توقف ۳۰ دقیقه ای در دمای 1050°C بوته را داغ از کوره خارج کرده و آن را در دسیکاتور به دمای محیط خنک کنید. خنک شدن بوته با لمس کردن آن به کمک پشت دست انجام می گیرد (دسیکاتوری که ماده اولیه برای خنک شدن در آن قرار دارد می تواند مورد استفاده قرار گیرد). بوته را به وسیله انبر بوته از دسیکاتور به کفه ترازو با دقت ۰/۱ (ترجیحاً ۰/۱ گرم) منتقل کنید. وزن بوته خالی را که با W_p نمایش می دهید، یادداشت کنید. با استفاده از اسپاتول از ماده اولیه خنک شده به دمای محیط به مقدار تقریبی ۵۰ گرم (دقت ۰/۱ ترجیحاً ۰/۱ گرم) به بوته توزین شده بیفزایید. وزن جدید W_p (بوته + ماده اولیه) را یادداشت کنید. تا زمانی که بوته و ماده اولیه به کوره جهت تعیین پرت حرارتی انتقال داده نشده است باید در دسیکاتور نگاهداری شود.

با انبر بوته حاوی ماده اولیه را به داخل کوره ای که دمای محیط را دارد، منتقل کنید و کوره را به آرامی و با شیب حرارتی کم گرم کنید. از دمای $10 \pm 1050^{\circ}\text{C}$ با توقف ۱ ساعت در دمای ماکزیمم برای تعیین پرت حرارتی ماده اولیه استفاده می شود (این پرت حرارتی همان پرتی است که تحت عنوان L.O.I. در آنالیز شیمیائی مواد اولیه آورده می شود). پس از توقف ۱ ساعت در دمای $10 \pm 1050^{\circ}\text{C}$ بوته داغ از کوره خارج شده و به داخل دسیکاتور برای سرد شدن به دمای محیط انتقال داده می شود. بوته و ماده اولیه پخته و خنک شده به دمای محیط را توزین و وزن (W_p) آن را یادداشت کنید.

محاسبات

٪ مواد فرار با استفاده از رابطه (۳-ظ) محاسبه میشود:

$$\%(\text{L.O.I.})...^{\circ}\text{C} = \frac{W_r - W_i}{W_r - W_1} \times 100 \quad (\text{ظ}-۳)$$

$\%(\text{L.O.I.})...^{\circ}\text{C}$ = مواد فرار (پرت حرارتی) در دمای اندازه گیری شده به ٪

W_1 = وزن بوتله خالی به گرم

W_p = وزن بوتله و ماده اولیه خشک شده در $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ به گرم

W_p = وزن بوتله و ماده اولیه پخته شده در $1050 \pm 10^{\circ}\text{C}$ به گرم

برای تجسم پرت حرارتی کائولین ها و بالکلی ها در جدول ۳-۲۲٪ پرت حرارتی 1050°C و 700°C برخی از آن ها آمده است.

جدول ۳-۲۲: مقایسه پرت حرارتی 1050°C و 700°C چند کائولین و بالکلی خارجی و داخلی

پرت حرارتی به ٪		ماده اولیه
700°C	1050°C	
—	۱۲/۷	کائولین زدلیتز Ia
—	۱۱/۱	کائولین آمبرگ K۰۸
—	۱۲/۵	کائولین هیرشاو Ia
—	۱۱/۹	بالکلی چرب گروس آلمرودر
—	۱۳/۰	بالکلی زاتزویر
—	۱۱/۶	بالکلی ویتزشلیکر
۵/۵	۷/۱	کوارتز رُسی زنوز نشسته
۸	۹/۲	کوارتز رُسی زنوز شسته
۶/۰	۶/۲	بالکلی آباده (SPV _۱)
۷/۱	۷/۳	بالکلی طبس

توجه به این نکته مهم است که پرت حرارتی مواد اولیه ایرانی به ویژه بالکلی ها می تواند متفاوت باشد آنچه به نحوه برداشت از معدن بر می گردد. در معدن مینرال های تشکیل دهنده لایه های رسوبی رس تغییر می کند در نتیجه پرت

حرارتی رس‌ها در قسمت‌های مختلف معدن متفاوت است. چون در اکثر معادن بالکلی داخلی برداشت بر اساس پیشروی عادی در معدن است پس نوسان در مینرال‌های تشکیل دهنده بالکلی با گذشت زمان و در نتیجه پرت حرارتی وجود دارد و از محموله به محموله می‌تواند متغییر باشد. با این برداشت غیر اصولی می‌تواند پرت حرارتی یک بالکلی یا هر ماده اولیه دیگر با گذشت زمان (چند ماه) در محدوده ۱-۲٪ تغییر کند. نوسان در پرت حرارتی کائولین‌ها و بالکلی‌های خارجی به دلیل برداشت اصولی از قسمت‌های مختلف معدن و مخلوط نمودن حساب شده آن‌ها با یکدیگر ۰/۵٪ است و در مدت زمان طولانی ترکیب مینرالی ماده اولیه تقریباً ثابت می‌ماند.

پرت‌های حرارتی دماهای 1050°C و 700°C کائولین‌ها و بالکلی‌های آمده در جدول ۳-۲۲ در مواردی نزدیک به یکدیگر و برای برخی از مواد اولیه اختلاف (حدود ۱/۵-۱٪) قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. برای مثال وجود اختلاف زیاد در پرت حرارتی در دو دمای 1050°C و 700°C کوارتز رسی زنوز دلیل بر وجود کربنات کلسیم در آن است. بالکلی‌های آباده و طبس اختلاف زیادی را در پرت حرارتی دو دمای اندازه‌گیری از خود نشان نمی‌دهند آنچه دلالت بر حضور کم کربنات کلسیم در آن‌ها دارد.

۳-۲-۳- انقباض پخت و کل:

انقباض پخت و انقباض کل برای مواد اولیه مختلف به ویژه رس‌ها متفاوت است و با افزایش دمای پخت نیز آن‌ها تغییر می‌کنند. این تغییر با افزایش دما اکثراً توأم با افزایش انقباض است و ندرتاً به صورت انبساط ظاهر می‌شود (برای مثال وجود سیلیس آزاد در ماده اولیه و انجام استحاله فازی آن در اثر حرارت می‌تواند منجر به انبساط شود). معمولاً مینرال‌های وجود در ماده اولیه تعیین‌کننده شدت انقباض هستند. افزایش دما مینرال‌های با تحمل حرارتی کم را به سمت خمیری و ذوب شدن برده و با ایجاد فاز شیشه باعث کاهش تخلخل کاسته، در نتیجه متراکم شدن انقباض پخت بیشتر صورت می‌گیرد. با مشاهده انقباض پخت برای دو دمای 1000°C و 1200°C آمده در جدول ۳-۲۳ ضمن اینکه معیاری برای مقدار انقباض پخت کائولین‌ها و بالکلی‌ها به دست می‌آورد، متوجه خواهید شد که انقباض پخت یک ماده اولیه با افزایش دمای 200°C می‌تواند شدیداً تغییر کند.

جدول ۳-۲۳: مقایسه انقباض پخت 1000°C و 1200°C چند کائولین و بالکلی خارجی و داخلی

% انقباض پخت		
1200°C	1000°C	
۹/۴		کائولین زدلیتز Ia
۸/۲		کائولین آمبرگ K۰۸
۶/۲	۲/۵	کائولین هیرشاو Ia
۱۱/۷	۳/۰	بالکلی چرب گروس آلرودر
۸/۹	۴/۰	بالکلی زاتزویر
۱۰/۱	۶/۷	بالکلی ویترشلیکر
۰/۵ - ۱/۲	۵/۱	کوارتز رُسی زنوز نشسته
۳/۵ - ۴/۰	۴/۵	کوارتز رُسی زنوز شسته
۵/۰ - ۶/۰		بالکلی آباده (SPV_1)
۵/۵ - ۶/۰		بالکلی طیس

روش عملی

وسایل لازم:

۱- کولیس

۲- کوره الکتریکی 1200°C

۳- سه نمونه انقباض خام (نمونه های آزمون انقباض خام) خشک شده در $5^{\circ}\text{C} \pm 10.5$ ، علامت گذاری شده و انقباض خام آن ها اندازه گیری شده (با نوشتن شماره در حاشیه قطرها با رنگ مقاوم نظیر اکسید کروم که در برابر دمای بیش از 1000°C مقاوم است، از سردرگمی بعدی جلوگیری نمائید) استفاده می شود.

شرح آزمایش: آزمون های انقباض خام ماده اولیه آزمایشی پس از اندازه گیری فواصل زده شده توسط کولیس روی آن ها آماده پخت برای سنجش انقباض پخت هستند. برای این منظور یک کوره الکتریکی خنک را انتخاب کنید. پس از شماره گذاری نمونه های انقباض (حداقل ۳ عدد) آن ها را در کوره بچینید و کوره را با شیب ملایم (افزایش دما با گذشت زمان کم باشد) تا دمای تعیین شده توسط مسئول آزمایشگاه گرم کنید (پیشنهاد می شود دمای 1000°C برای ماده اولیه انتخاب شود). پس از توقف ۶۰ دقیقه ای در دمای ماکزیمم کوره را خاموش کنید تا به دمای محیط خنک شود.

لازم به یادآوری است که برای صرفه جوئی در مصرف انرژی و جلوگیری از استهلاک کوره توصیه می شود همزمان با پخت نمونه های انقباض خط کش های ویژه سنجش استحکام خمشی پخت نیز پخته شوند.

علامت‌ها (فواصل) موجود روی نمونه‌ها را پس از خروج از کوره خنک شده به دمای محیط به وسیله کولیس اندازه‌گیری کنید. برای ثبت اندازه‌ها می‌توانید از جدولی مشابه جدول ۳-۲۴ استفاده کنید.

جدول ۳-۲۴: جدول پیشنهادی ثبت نتایج انقباض پخت و کل

انقباض به %		طول به mm			علامت طول	شماره نمونه
کل $S_{t(...^{\circ}C)}$	پخت $S_{f(...^{\circ}C)}$	پخت L_f	خشک L_d	تر L_w		
				۵۰	۱	۱
				۵۰	۲	
				۵۰	۳	۲
				۵۰	۴	
				۵۰	۵	۳
				۵۰	۶	

۱- چون در انقباض خشک (خام) طول ۵۰ میلی‌متر انتخاب شد.

محاسبات

برای محاسبه % انقباض پخت و کل از رابطه‌های (۳-ع) و (۳-غ) استفاده می‌شود:

$$\%S_{f(...^{\circ}C)} = \frac{L_d - L_f}{L_d} \times 100 \quad (3-ع)$$

$$\%S_{t(...^{\circ}C)} = \frac{L_w - L_f}{L_w} \times 100 \quad (3-غ)$$

$S_{f(...^{\circ}C)}$ = انقباض پخت در دمای $.....^{\circ}C$ به %

$S_{t(...^{\circ}C)}$ = انقباض کل در دمای $.....^{\circ}C$ به %

L_w = طول تر به میلی‌متر (در اینجا ۵۰ میلی‌متر انتخاب شده است).

L_d = طول خشک به میلی‌متر.

$L_{f(...^{\circ}C)}$ = طول پخت در دمای $.....^{\circ}C$ به میلی‌متر.

لازم به یادآوری است که با توجه به رابطه‌های (۳-ع)، (۳-غ) و (۳-ژ) نمی‌توان انقباض خام و پخت را با یکدیگر جمع نمود و برابر انقباض کل قرار داد زیرا مخرج رابطه‌های (۳-ع) و (۳-ژ) متفاوت و غیر مشترک می‌باشند.

۳-۳-۳- استحکام خمشی پخت

استحکام پخت مواد اولیه پلاستیک با افزایش مواد گدازآور از قبیل فلدسپات، میکا (به ویژه در بالکلی‌ها یافت می‌شود)، اکسید آهن، اکسید کلسیم و اکسید منیزیم در آن‌ها افزایش می‌یابد. دلیل آن تشکیل فاز شیشه ناشی از حضور گداز آورها در ماده اولیه و حین پخت است که به کاهش تخلخل‌ها و در نتیجه نزدیک شدن ذرات و متصل شدن آن‌ها به یکدیگر کمک می‌کند. تشکیل فاز شیشه در افزایش انقباض پخت و استحکام پخت ماده اولیه نقش مهمی ایفا می‌کند. البته باید توجه داشت که وجود برخی مینرال‌ها در ماده اولیه، تبدیل آن‌ها به مینرال‌های دیگر در حین پخت و یا تشکیل مینرال‌های کاملاً جدید در حین پخت عامل برای افزایش استحکام پخت ماده اولیه هستند. در جدول ۳-۲۵ استحکام خمشی پخت برخی از کائولین‌ها و بالکلی‌ها آمده است.

جدول ۳-۲۵: مقایسه استحکام خمشی پخت چند کائولین و بالکلی داخلی

استحکام خمشی پخت به N/mm^2		ماده اولیه
$1200^\circ C$	$800^\circ C$	
—	۵ - ۶	کوارتز رسی زنوز نشسته
۸ - ۱۱	۱۰ - ۱۰/۵	کوارتز سی زنوز شسته
۳۰ - ۳۵	۲۸ - ۳۵	بالکلی آباده (SPV_1)
۲۵ - ۴۵	۲۰ - ۴۰	بالکلی طبس

روش عملی

وسایل لازم:

۱- آزمون ۱۰ عدد (نمونه‌های شکسته شده در آزمون استحکام خمشی خام نیز قابل استفاده می‌باشند)

۲- کوره الکتریکی $1200^\circ C$

۳- کولیس

۴- استحکام سنج

۵- اکسید کروم برای کدگذاری

شرح آزمایش: نمونه‌های استحکام خمشی (۶ آزمون) که در آزمون استحکام خمشی خام تهیه شدند به همراه ۴ نمونه شکسته استحکام خمشی خام برای این آزمون باید پخته شوند. حداقل ۱۰ نمونه را با استفاده از اکسید کروم (توجه شود

که این اکسید سمی است و از آلوده شدن دست به آن پرهیز گردد) شماره گذاری نمائید. آزمون‌ها را در یک کوره الکتریکی سرد برای پخت قرار دهید(همان طور که در قسمت انقباض پخت اشاره شد، می توانید همزمان با پخت این آزمون‌ها نمونه های انقباض پخت رانیز پخت کنید) . کوره را روشن نمائید و آن را با شیب ملایم تا دمای تعیین شده توسط مسئول آزمایشگاه گرم کنید (پیشنهاد می شود دمای 1000°C برای پخت انتخاب شود). پس از توقف ۶۰ دقیقه‌ای در دمای ماکزیمم کوره را خاموش کنید و منتظر بمانید تا به دمای محیط خنک شود.

با استفاده از دستگاه استحکام سنجی که در آزمایشگاه دارید (پریودی مشابه شکل ۳-۱۰ و یا مداوم مشابه شکل های ۳-۱۱ و ۳-۲۲) نمونه های پخته را شکسته و وزن شکست را در گوشه نمونه های شکسته با مداد یادداشت و همزمان در جدولی مشابه جدول ۳-۲۶ ثبت کنید (چون نیروی شکست نسبت عکس با میانگین عرض مقطع شکست و مجذور ارتفاع نمونه دارد نیروی شکست هر آزمون ویژه خود آن است).

قبلا در شکل ۳-۱۲ مقطع شکست آزمون نشان داده شده است. ابعاد اشاره شده در شکل اندازه گیری شوند و در جدول ۳-۲۶ برای محاسبات بعدی ثبت گردند.

محاسبه استحکام خمشی پخت با استفاده از رابطه (۳-۳) که از آن در محاسبه استحکام خمشی خام استفاده شد ، انجام می گیرد. پس از محاسبه استحکام هر نمونه نتیجه را در جدول ثبت نمائید. استحکام خمشی پخت نهائی از جمع استحکام آزمون‌ها و تقسیم آن بر تعداد آن ها حاصل می شود. نمونه های پخته شکسته استحکام خمشی را برای آزمون جذب آب حفظ نمائید.



شکل ۳-۲۲- استحکام سنج الکتریکی با توان بالا

جدول ۳-۲۶: جدول پیشنهادی جهت ثبت ابعاد، نیروی شکست و نتیجه نهائی استحکام خمشی پخت

استحکام خمشی پخت $N/mm^2 = Mpa$	ارتفاع مقطع شکست نمونه mm				عرض مقطع شکست نمونه mm			نیروی شکست N	تکیه گاه mm	شماره نمونه
	h_p	h_r	h_l	h	b_p	b_l	b			
										۱
										۲
										۳
										۴
										۵
										۶
										۷
										۸
										۹
										۱۰
میانگین استحکام خمشی پخت										

۳-۳-۴-٪ جذب آب:

ضمن این که ٪ جذب آب بدنه های سرامیکی پخت نهائی شده در محدوده صفر (بدنه های چینی سخت) تا حدود ۲۰٪ (بدنه های بدل چینی) قرار دارد این خاصیت برای مواد اولیه سرامیک پخته مورد استفاده در صنایع سرامیک نیز متفاوت است. ٪ جذب آب بدنه در جوار سایر خواص از پارامترهای تایید کننده مطلوب بودن دمای پخت بدنه است. برای مواد اولیه پخته ٪ جذب آب تابع دمای پخت است و با افزایش دما از جذب آب آن کاسته می شود. بهره ای که از ٪ جذب آب مواد اولیه پلاستیک پخته گرفته می شود در رابطه با کاربرد آن ها در بدنه مناسب آن ها است. در برخی از بدنه ها استفاده از مواد اولیه پلاستیکی که در دمای پخت نهائی بدنه به محدوده ٪ جذب آب مشخصی برسند، در اولویت است. بدنه های متخلخل (برای مثال بدل چینی ها) ضمن ضعف در استحکام با مشکل انبساط رطوبتی (شق لعاب شدن به مرور زمان) نیز مواجه هستند لذا اندازه گیری ٪ جذب آب آن ها اهمیت دارد. برای تجسم بهتر ٪ جذب آب مواد اولیه پلاستیک و وابستگی آن از دما در جدول ۳-۲۷، ٪ جذب آب $1000^{\circ}C$ و $1200^{\circ}C$ چند کائولین و بالکلی آورده شده است. آزمون سنجش ٪ جذب آب به دو روش توضیح داده می شود.

جدول ۳-۲۷: مقایسه % جذب آب کائولین ها و بالکلی های داخلی و خارجی در 1000°C و 1200°C

% جذب آب		ماده اولیه
$P_{1200^{\circ}\text{C}}$	$P_{1000^{\circ}\text{C}}$	
۱۵/۴	۲۷/۶	کائولین زدلیتز Ia
۱۰/۵	۲۱/۰	کائولین آمبرگ K۰۸
۲۲/۵	۳۰/۰	کائولین هیرشاو Ia
۰/۲	۱۳/۸	بالکلی چرب گروس آلمرودر
۰/۶	۱۰/۸	بالکلی زاتزویر
۰/۷	۱۰/۸	بالکلی ویتزشلیکر
۲۵ - ۳۰		کوارتز رُسی زنوز شسته
۱ - ۲		بالکلی آباده (SPV _۱)
تقریباً ۵		بالکلی طبس

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- نمونه پخته شده (قطعاتی از آزمون های استحکام خمشی پخت) حداقل ۵ عدد
- ۲- خشک کن
- ۳- دسیکاتور
- ۴- ترازو با دقت ۰/۱ گرم
- ۵- سبد استیل متوسط ۱ عدد
- ۶- قابلمه متوسط ۱ عدد
- ۷- قابلمه کوچک ۱ عدد
- ۷- آب مقطر (برای انجام آزمایش های دقیق در غیر این صورت آب شهر)
- ۸- سه پایه ۲ عدد
- ۹- اجاق (گازی یا الکتریکی) ۲ عدد
- ۱۰- آبفشان ۱ عدد

۱۱- انبر متوسط ۱ عدد

۱۲- اسفنج ۱ عدد

۱۳- ساعت ۱ عدد

شرح آزمایش: روش ۱ (اندازه گیری توام با جوشانیدن):

۱- آزمون هائی (حداقل ۵ عدد) به ابعاد تقریبی $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 1/5\text{cm}$ تهیه شده از نمونه های انقباض پخت و یا استحکام خمشی پخت آماده نمائید.

۲- آزمونها را پس از تمیز نمودن به کمک هوای فشرده در دمای $10.5 \pm 5^\circ\text{C}$ و حداقل ۲ ساعت خشک کنید.

۳- آزمونهای خشک شده و به دمای محیط خنک شده را با دقت $0/1$ گرم توزین کنید و وزن آنها را در جدول ۳-۲۸ ثبت نمایید.

۴- آزمونها را فاصله دار (حداقل فاصله ۱ سانتی متر) داخل سبد استیل قرار دهید.

۵- آب شهر (در آزمایشهای دقیق از آب مقطر استفاده می شود) داخل قابلمه ریخته و سبد را به داخل آب فرو برید. یا باید سبد در داخل آب آویزان باشد و یا با انتخاب پایه مناسب سبد داخل آب به نحوی مستقر گردد که تماس آب با آزمونها از پائین از طریق پایه ها و یا کف قابلمه دچار اختلال نشود. ضمناً ارتفاع سطح آب از سطح بالائی آزمونها باید ۴ سانتی متر باشد.

۶- قابلمه را برای جوش آوردن آب روی سه پایه قراردادده و منبع حرارتی را فعال نمائید.

۷- زمان آغاز جوشیدن آب را یادداشت نمائید.

۸- در قابلمه کوچک آب افزوده و آن را به جوش آورید. برای جبران آب بخار شده و حفظ ارتفاع تقریبی ۴ سانتی متر سطح آب از سطح آزمونها متناباً از آب در حال جوش قابلمه کوچک به قابلمه متوسط بیفزائید (افزودن آب باید به نحوی باشد که جوشیدن آب قابلمه حاوی آزمونها تداوم داشته باشد و در آن انقطاع حاصل نشود).

۹- جوشانیدن آزمونها را در آب ۴ ساعت ادامه دهید و سپس منبع حرارتی را خاموش نموده و به آزمونها به گونه ای که هنوز داخل آب قرار دارند، فرصت دهید تا به دمای محیط خنک شوند.

۱۰- با خارج کردن یک آزمون به کمک انبر با اسفنج تمیز نم دار (یعنی با فشردن اسفنج با دست نباید آب به صورت قطره از آن چکیده شود) سطح آزمون را خشک کنید و فوراً با دقت $0/1$ گرم آن را توزین و وزن آن را در جدول ثبت اطلاعات یادداشت نمائید. سپس اقدام به خارج نمودن، خشک کردن، توزین و..... آزمون دوم، سوم،... نمائید تا تمامی آزمونها به ترتیب توزین و اطلاعات آنها یادداشت گردد.

جدول ۳-۲۸: جدول پیشنهادی جهت ثبت اطلاعات جذب آب

نمونه	وزن خشک به گرم W_d	وزن تر به گرم W_w	جذب آب به % $P_{(…°C)}$
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			
۷			
۸			
میانگین % جذب آب			

۱۱- با توجه به رابطه (۳-ف) اقدام به محاسبه % جذب آب آزمونه ها نمائید.

$$P_{(…°C)} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad \text{رابطه (۳-ف)}$$

= جذب آب به % و در دمای پخت آزمونه ها

$$W_w = \text{وزن آزمونه تر به گرم}$$

$$W_d = \text{وزن آزمونه خشک به گرم}$$

از جمع نمودن % های جذب آب محاسبه شده برای آزمونه ها و تقسیم آن بر تعداد آزمونه ها میانگین جذب آب ماده اولیه آزمایشی در دمائی که پخت آن صورت گرفته است، حاصل می شود.

روش ۲ (اندازه گیری با آب سرد):

این روش نیز مانند روش ۱ است با این تفاوت که در آن آزمونه‌ها در سید استیل قرار می گیرند به نحوی که تقریباً ۴ سانتی متر آب روی آنها را بگیرد، در آب قرار می گیرند و جوشانیدن آن ها به مدت ۴ ساعت حذف می گردد. در این روش مانند روش ۱ آزمونه‌ها بدون جوشانیدن فقط به مدت ۲۴ ساعت داخل آب در دمای محیط می مانند و سپس مراحل خشک کردن، توزین و آزمونه ها مانند روش ۱ صورت می گیرد. محاسبات نیز با استفاده از رابطه (۳-ف) صورت می گیرد.

۲-۳-۵ - مقاومت پخت:

مواد اولیه مختلف در برابر دما متفاوت عمل می کنند. برخی از مواد اولیه مانند بوراکس تحمل حرارتی خیلی کمی دارند و پائین تر از 1000°C ذوب می شوند. گروهی دیگر مانند فلدسپات ها که گداز آور با دمای خمیری حدود 1000°C و نقطه ذوب حدود 2000°C بالاتر از دمای خمیری هستند. هر دو گروه اشاره شده دارای مقاومت پخت پائین هستند و عمده نقش را در ساخت شیشه ها و لعاب ها دارند. مواد اولیه ای نظیر کائولین ها و گروهی از بالکلی ها که دمای خمیری آن ها بالاتر از 1500°C است در گروه دیرگدازها جای می گیرند که از یک طرف در بدنه های سرامیک سنتی صنعتی کاربرد دارند و از طرف دیگر در ساخت دیرگدازها از آن ها استفاده می شود.

یکی از متداول ترین روش ها که روش مقایسه ای است ، مقاومت قطعه شکل داده شده از ماده اولیه آزمایشی با یک نمونه شاهد که دارای همان ابعاد است در دمای مشخص پخته می شوند و سپس با یکدیگر مقایسه می شوند. آزمون روی دو تکیه گاه به صورت افقی قرار گرفته و با افزایش دما روی سنگینی وزن خود از حالت افقی خارجی شده و به سمت پائین قوس دار می شود. نقطه با بیشترین قوس که معمولا در وسط آزمون است نسبت به حالت افقی آزمون سنجیده می شود. با خط کش مقدار خم شدن اندازه گیری و با واحد طول عنوان می شود. این روش (بادو تکیه گاه) در اینجا برای اجرای کار آزمایشگاهی توضیح داده می شود.

در روشی دیگر خط کش هایی (مثلا ۴ عدد) از ماده اولیه آزمایشی با ابعاد یکسان (ابعاد آمده در جدول ۳-۳) ساخته می شوند. دو آجر دیرگداز انتخاب و روی یکی از آن ها خط کش ها در کنار یکدیگر به گونه ای چیده می شوند که به ترتیب لبه های آزاد خط کش ها ۵ ، ۶ ، ۷ و ۸ سانتی متر باشد. حال آجر دیرگداز دومی روی آجر اولی که روی آن آزمون ها چیده شده اند قرار می گرفته و مجموعه در دمای بالا حرارت داده می شوند. معیار سنجش در این روش مقدار خم شدن آزمون حرارت داده شده است که با توجه به متفاوت بودن لبه های آزاد آزمون ها با افزایش طول آزاد افزایش می یابد. در جدول ۳-۲۹ مقاومت پخت کائولین زدلیتز (دارای مقاومت پخت عالی) با روش دو تکیه گاه در دمای 1410°C مشاهده می شود.

جدول ۳-۲۹: مقاومت پخت کائولین زدلیتز در دمای 1410°C

مقاومت پخت		ماده اولیه
$^{\circ}\text{C}$	mm	
۱۴۱۰	۲ - ۳	کائولین زدلیتز Ia

امکان سنجش مقاومت پخت در میکروسکوپ حرارتی نیز وجود دارد که با آن ضمن سنجش انقباض پخت ، دمای خمیری نسبی و حتی نقطه ذوب ماده اولیه وجود دارد.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ماده اولیه به صورت پودر ۳۰۰ گرم
- ۲- ٪ آب کارپذیری ففرکورن
- ۳- ترازو با دقت ۰/۱ گرم
- ۴- قالب گچی مقاومت پخت ۱ عدد (ابعاد آزمون ساخته شده توسط قالب باید دارای ابعاد آمده در جدول ۳-۳۰ باشد). در شکل ۳-۲۳ قالب گچی نشان داده شده است.
- ۵- قالب پایه مناسب با عرض ۴۰ میلی‌متر تکیه گاه و فاصله ۱۸۰ میلی‌متر بین تکیه‌گاه‌ها (به پایه موجود در شکل ۳-۲۳ توجه شود). این پایه با ریخته‌گری دوغابی از بدنه ای با تحمل حداقل دمای آزمون مقاومت پخت تولید می‌شود.
- ۶- سطل یا پارچ کوچک ۱ عدد
- ۷- خشک‌کن
- ۸- کوره دمای پخت 1200°C

جدول ۳-۳۰: اندازه ابعاد نمونه مقاومت پخت (سطح مقطع ذوزنقه ای است).

اندازه ها به میلیمتر			
ارتفاع	عرض	طول	
	۲۵	۲۵۰	قاعده کوچک
	۳۰	۲۶۰	قاعده بزرگ
۱۰			ارتفاع

شرح آزمایش: ساخت آزمون مقاومت پخت مشابه ساخت آزمون های استحکام خمشی خام (۳-۲-۳) است. باید توجه داشت که در ساخت آزمون باید دقت کافی به عمل آید تا آزمون بدون تابیدگی، انحنای و کاملاً عاری از عیب تولید شود. آزمون پس از خشک شدن در دمای $5 \pm 105^{\circ}\text{C}$ روی پایه مخصوص (در شکل ۳-۲۳ پایه به همراه نمونه مقاومت پخت در مجاورت قالب گچی مقاومت پخت دیده می‌شود) قرار می‌گیرد. پخت آزمون کاملاً تخت بدون عیب روی پایه و در دمای مناسب انجام می‌گیرد. تغییر حالت (انحناء) آزمون سرد پخته (فاصله بین تکیه‌گاه‌ها) نسبت به حالت افقی آزمون خام

با خوابانیدن آزمون به پهلو روی کاغذ و رسم دو خط انجام می‌گیرد. بزرگترین فاصله که بین خط افقی اولیه و خط قوس دار بعد از پخت رسم شده روی کاغذ حاصل شده است با خط کش اندازه گیری و با دقت میلیمتر به عنوان پاسخ نهائی یاد داشت می‌شود. لازم به یادآوری است که در این آزمون به دو نکته مهم باید توجه کرد:

- ۱- قالب گچی مقاومت پخت بعد از استفاده مستمر از آن فرسوده می‌شود که قبل از بحرانی شدن فرسودگی (تا تولید ۴۰ آزمون هنوز کارائی دارد) باید قالب فرسوده توسط قالب تازه جایگزین گردد. این فرسودگی باعث تغییر ابعاد آزمون (افزایش ابعاد) و در نتیجه کاهش خمش بعد از پخت ماده اولیه و نهایتاً خطا در مقدار مقاومت پخت می‌شود.
- ۲- فقط قسمت روی تکیه گاه قرار گرفته آزمون (افقی حالت خام وانحنادار بعد پخت) معیار سنجش باشد.



شکل ۳-۲۳- قالب گچی ویژه ساخت نمونه مقاومت پخت

امکان مقایسه نتیجه مقاومت پخت ماده اولیه آزمایشی پخته شده در دمای 1410°C با مقاومت پخت کائولین زدلیتز Ia در همان دما که معادل ۲-۳ میلیمتر است، وجود دارد.

۳-۳-۶- دمای خمیری: در جوار مقاومت پخت از آزمون‌های مهم دیگر در رابطه با تحمل حرارتی سنجش دیرگدازی (دمای خمیری) ماده اولیه است. سنجش تحمل حرارتی مواد اولیه کمک به بکارگیری صحیح آن‌ها در تولیدات سرامیکی می‌کند (بدنه‌ها: نظیر چینی، بدل چینی و.... دیرگدازها: نظیر فرآورده‌های آلومینو سیلیکاتی و....). برای تجسم بهتر دمای خمیری مواد اولیه پلاستیک که معمولاً به جز بنتونیت‌ها، رس‌های سفالگری و برخی از بالکلی‌ها دیرگدازند دمای خمیری برخی از آن‌ها در جدول ۳-۳۱ آورده شده است.

جدول ۳-۳۱: مقایسه دمای خمیری چند کائولین و بالکلی

دمای خمیری به		ماده اولیه
°C	SK ^۱	
۱۷۹۰	۳۶	کائولین زدلیتز Ia
۱۷۵۰/۱۷۷۰	۳۴/۳۵	کائولین آمبرگ K۰۸
۱۷۷۰	۳۵	کائولین هیرشاو Ia
۱۷۳۰	۳۳	بالکلی چرب گروس آلمرودر
۱۷۳۰	۳۳	بالکلی ویتزشلیکر

مخروط زگر = SK = Segerkegel - ۱

روش عملی

وسایل لازم:

۱- پودر ماده اولیه ۱۰۰ گرم

۲- قالب ویژه شکل دادن مخروط (شکل ۳-۲۴)

۳- خشک کن

۴- مخروط‌های استاندارد در شماره‌های مختلف به تعداد کافی

۵- کوره الکتریکی دمای بالا ($> 1700^{\circ}\text{C}$)

۷- آب شهر

۸- روغن (مایع خوراکی یا بزرک)

۹- % آب کارپذیری ففركورن

شرح آزمایش: در شکل ۳-۲۴ یک قالب فلزی ساخت مخروط مشاهده می شود. این امکان وجود دارد که با توجه به ابعاد مخروط های زگر استاندارد موجود در کارگاه اقدام به ساخت یک قالب گچی مناسب تولید آزمون ها نمائید. توجه شود که قالب گچی بعد از ساخت مشابه مادر قالب های تولید قالب باید با روغن بزرک کاملاً اشباع گردد تا جذب آب آن کاملاً از بین برود.

ابتدا پودر ماده اولیه را با توجه به % آب کارپذیری ففركورن به گل پلاستیک تبدیل کنید. گل پلاستیک را در قالب روغن زده به مخروط شکل دهید. توصیه می شود حداقل ۶ مخروط تهیه شود. در صورتی که ماده اولیه آزمایشی از پلاستیسیته کافی برخوردار نبود، می توانید از چسب (CMC، دکسترین، ...) به مقدار ۰/۵ درصد بر مبنای خشک در آن برای بهبود شکل پذیری و استحکام خشک استفاده کنید. آزمون ها را در دمای $5^{\circ}\text{C} \pm 10.5$ خشک نمائید.



شکل ۳-۲۴- قالب ویژه ساخت مخروط‌های سنجش دمای خمیری [۷]

مخروط ماده اولیه خشک شده را در وسط یک صفحه نسوز و مخروط‌های استاندارد به ترتیب شماره از شماره کم به ترتیب با افزایش شماره در اطراف آزمون مستقر نمائید. استقرار مخروط‌ها روی نسوز نیاز به ملات نسوز دارد ضمن اینکه زاویه ای که مخروط‌ها پس از استقرار نسبت به سطح نسوز باید داشته باشند ۸۵ درجه است. صفحه نسوز و مخروط‌های مستقر شده روی آن در کوره ویژه سنجش دمای خمیری قرار داده می‌شوند و کوره روشن می‌شود. با گذشت زمان و افزایش دمای کوره ابتدا مخروط‌های زگر استاندارد دمای پایین به ترتیب با افزایش دما به دمای خمیری خود رسیده و خم می‌شوند. زمانی که مخروط ساخته شده از ماده اولیه آزمایشی خم شد، آزمون پایان یافته تلقی می‌شود. دمای خمیری آزمون معادل دمای خمیری آخرین مخروط زگر خم شده است که هم‌زمان با آزمون خم شود. با توجه به مشخص بودن شماره مخروط زگر استاندارد و دمای خمیری آن که معادل آزمون است می‌توان به دیرگدازی (دمای خمیری) ماده اولیه آزمایشی پی برد. معمولاً جدول‌هایی از طرف سازندگان مخروط‌های زگر به مصرف کننده داده می‌شود که در آن دمای خمیری مخروط‌های استاندارد با ذکر شماره آمده است. دسترسی به این جدول‌ها از طریق کتاب‌های دیرگداز نیز مقدور است. در شکل ۳-۲۵ شمای صحیح دمای خمیری (مخروط زگر شماره ۱۲) نشان داده شده است. در شکل ۳-۲۶ خم شدن دو آزمون در جوار مخروط زگر استاندارد مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۲۵- کنترل دما با مخروط زگر (دمای خمیری مخروط ۱۲ دمای واقعی را نشان می دهد) [۸]



شکل ۳-۲۶- خم شدن ناقص آزمون با دمای خمیری نامشخص [۷]

خودآزمایی

- ۱- چرا نمونه برداری می‌کنیم؟
- ۲- انواع روش نمونه‌برداری را با رسم شکل شرح دهید.
- ۳- چرا دمای $5 \pm 10.5^\circ\text{C}$ برای خشک کردن انتخاب شده است؟
- ۴- چرا عدد پلاستیسیته ریکه با افزایش پلاستیسیته بزرگتر میشود؟
- ۵- چرا عدد پلاستیسیته ریکه بالکلی‌ها بیشتر از کائولین‌ها است؟
- ۶- آیا عدد پلاستیسیته ریکه بنتونیت‌ها با بالکلی‌ها متفاوت است؟
- ۷- % آب‌کارپذیری ریکه یک بالکلی خیلی پلاستیک بیشتر است یا یک بالکلی با پلاستیسیته کم؟
- ۸- % آب‌کارپذیری ففرکورن یک ماده اولیه بزرگتر است یا عدد پلاستیسیته ففرکورن آن؟
- ۹- ارتفاع ثانویه در آزمایش ففرکورن چه مفهومی دارد (به تاثیر آب موجود در گل روی ارتفاع توجه کنید)؟
- ۱۰- ابعاد و وزن‌های استاندارد دستگاه ففرکورن کدامند؟
- ۱۱- وزن مخصوص تقریبی مواد اولیه سنتی صنعتی سرامیک چه مقدار است؟
- ۱۲- از اندازه‌گیری وزن لیتر در خط تولید کدام بهره گرفته می‌شود؟
- ۱۳- سودای خشک ۲۹۰ میلی لیتر یک محلول ۸۰ گرم در لیتر سودا چه مقدار است؟
- ۱۴- به ۱۷۵ گرم پودر خشک ماده اولیه ای ۱۵ میلی لیتر محلول سودای ۷۰ گرم در لیتر افزوده شده است. % سودا بر مبنای خشک آن چه مقدار است؟
- ۱۵- کدام تغییرات را جذب آب یک ماده اولیه حاوی کربنات کلسیم با افزایش دما دارد؟
- ۱۶- آیا ارتباطی بین مقاومت پخت یک کائولین و دمای خمیری آن وجود دارد؟

آماده سازی مواد اولیه

هدف‌های رفتاری : فراگیر پس از پایان این فصل قادر خواهد بود:

- ماده اولیه را شسته و خلوص آن را بالا ببرد.
- به روش آندریازن توزیع دانه‌بندی را اندازه‌گیری نماید.
- به کمک پیکنومتر وزن مخصوص ماده اولیه را به دست آورد.
- ماده اولیه غیر پلاستیک را خرد کند.
- به کمک الک (روش تر) پودر ماده اولیه را دانه‌بندی کند.
- بعد از دانه‌بندی درصد مانده‌های روی الک را محاسبه کند.
- چگالی انباشتگی دانه‌های (مانده روی الک) بزرگتر از ۴mm را اندازه‌گیری کند.

۴- آماده‌سازی مواد اولیه

در درس آماده‌سازی با فنون و تأسیسات مختلف آماده‌سازی آشنا شده‌اید. در این آزمایشگاه با دو روش مهم آماده‌سازی ویژه مواد اولیه پلاستیک و مواد اولیه غیر پلاستیک آشنا خواهید شد. مطلع هستید که معمولاً مواد اولیه پلاستیک برای باز شدن در آب استعداد دارند و ذرات ریز آن‌ها در آب به صورت شناور درمی‌آید. ساده‌ترین مثال باز شدن خاک معمولی یا خاک رس در آب است.

مواد اولیه غیر پلاستیک با کاربرد وسیع سرامیکی اکثراً به صورت سنگ هستند که باید خرد شوند. گاهی آن‌ها حالت ماسه‌ای داشته و درشت دانه هستند.

۴-۱- مواد اولیه پلاستیک

در مجموعه مواد اولیه پلاستیک کائولین‌ها با کاربرد وسیع مطرح می‌شوند. کائولین نشسته (خام) که در طبیعت یافت می‌شود به همراه ذرات ریز مینرال‌های رسی (کائولینیت و میکاها) حاوی دانه‌های درشت کوارتز، فلدسپات و ... است که وجود ذرات ریز و درشت ناشی از هوازگی سنگ مادر (فلدسپات) اولیه است. کائولینیت در مقایسه با کوارتز و مینرال‌های فلدسپاتی ریز دانه‌تر است که از این ویژگی برای جداسازی ناخالصی‌ها (کوارتز و فلدسپات) از مینرال‌های رسی استفاده

می‌شود. فرآیند جداسازی همان کائولین شوئی است.

۴-۱-۱- شستشوی کائولین: شستشوی کائولین به این منظور صورت می‌گیرد که دانه‌های درشت‌تر کوآرتز و فلدسپات را از مینرال‌های رسی که ریز دانه‌ترند، جدا کنند. با روش شستشوی مکانیزه کائولین در درس آماده‌سازی آشنا شده‌اید. در آزمایشگاه مواد اولیه سعی می‌شود روش ساده‌ای برای شستشوی کائولین (جدا سازی ذرات درشت ناخالصی از ذرات ریز رس) پیشنهاد شود زیرا معمولاً تأسیسات کائولین شوئی در حد تولید نیمه صنعتی (پایلوت) در دسترس نیست.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- سطل پلاستیکی متوسط ۲ عدد

۲- آب شهر

۳- الک ۹۰ میکرون (مش ۱۷۰) ۱ عدد

۴- الک ۵۰۰ میکرون (مش ۳۵) ۱ عدد

۵- خشک‌کن

۶- کائولین نشسته به صورت کلوخه ۱ کیلوگرم

۷- کاسه فلزی بزرگ ۲ عدد

آزمایش: ابتدا کلوخه‌ها را بدون خرد کردن داخل یک سطل پلاستیکی بریزید. سپس تا نیمه به سطل آب اضافه کنید. مخلوط آب و کلوخه را خوب هم زده و آن را برای مدت حداقل ۲۴ ساعت در گوشه‌ای قرار دهید تا کلوخه‌ها در آب باز شوند. کلوخه‌های باز شده در آب را پس از هم‌زدن سوسپانسیون (مخلوط آب و مواد معلق در آن) را با احتیاط از الک ۵۰۰ میکرون عبور دهید و عبوری آن را در سطل پلاستیک دیگر ذخیره نمایید. آنچه روی الک مانده است را در ظرفی تخلیه کنید.

سوسپانسیون عبوری از الک ۵۰۰ میکرون را از الک ۹۰ میکرون عبور دهید و عبوری آن را در سطل پلاستیکی ذخیره نمایید. مانده روی الک ۹۰ میکرون را پس از شستشو به مانده قبلی (مانده روی الک ۵۰۰ میکرون) بیفزایید. در سطل حاوی سوسپانسیون عبور کرده از الک ۹۰ میکرون را ببندید و به آن چند روز فرصت برای ته‌نشین شدن کامل را بدهید. پس از سپری شدن زمان ته‌نشین شدن با احتیاط کامل آب روی مواد ته‌نشین شده را برداشته و مواد ته‌نشین شده را در کاسه فلزی تخلیه کنید. برای تبخیر آب و خشک شدن مواد سفت آن کاسه را در خشک‌کن قرار دهید. ماده خشک شده آمادگی جهت اندازه‌گیری توزیع دانه‌بندی < 63 میکرون به روش آندریازن را دارد. مانده روی الک های ۹۰ و ۵۰۰ میکرون را در دمای 50 ± 105 خشک کنید تا روی آن اندازه‌گیری وزن مخصوص به کمک پیکنومتر را انجام دهید.

۴-۱-۲- اندازه گیری خواص

۴-۱-۲-۱- اندازه گیری دانه بندی ۶۳ < میکرون

امروزه روش‌های مدرن دستگاهی برای اندازه‌گیری توزیع دانه‌بندی وجود دارد برای مثال می‌توان از PSA (Particle Size Analyzer) نام برد که در زمان کوتاه توزیع دانه بندی را با دقت بالا ارائه می‌دهد. دستگاه PSA گران است، همه جا در دسترس نیست و نتیجه بر اساس نرم افزار تعریف شده در ملحقات دستگاه ارائه می‌گردد. آشنائی با توزیع دانه بندی ماده اولیه و پی بردن سیستماتیک به مفهوم دانه بندی ذرات ریز موجود در ماده اولیه برای هنرجویان حائز اهمیت است. بر این اساس تعیین توزیع دانه بندی به روش آندریازن که روشی رسوبی است، برای این مبحث انتخاب گردید.

-روش آندریازن [۱۰، ۹]

به کمک این روش آن دسته از دانه‌ها مشخص می‌شوند که به دلیل ریزبودن به کمک الک نمی‌توان مقدار آن‌ها را مشخص نمود. روش بر این اصل پایه‌گذاری شده که زمان سقوط ذرات با اندازه‌های مختلف در یک مایع مختلف است. رابطه اصلی سقوط ذرات در مایعات دارای پارامترهای مختلف است. با قرار دادن برخی از پارامترها برای مثال میانگین وزن مخصوص ($\rho = 2/6 \text{ g/cm}^3$) مواد سفت موجود در سوسپانسیون، ویسکوزیته آب و..... رابطه خلاصه شده و ساده می‌شود. چون ویسکوزیته آب که یکی از عوامل تاثیر گذار در سقوط ذرات است با افزایش دما کاهش می‌یابد در نتیجه زمان سقوط ذرات در آب با دماهای مختلف تغییر می‌کند. به کمک رابطه‌های ساده شده (۴- الف تا ۴- ج) که در آن‌ها وابستگی ویسکوزیته آب از دما لحاظ شده است، زمان سقوط ذرات برای دماهای مختلف آب قابل محاسبه است:

$$t_{15} = 1300 \cdot \frac{h}{dm^2} \quad (4-الف)$$

$$t_{18} = 12100 \cdot \frac{h}{dm^2} \quad (4-ب)$$

$$t_{20} = 11500 \cdot \frac{h}{dm^2} \quad (4-پ)$$

$$t_{22} = 10800 \cdot \frac{h}{dm^2} \quad (4-ت)$$

$$t_{25} = 10200 \cdot \frac{h}{dm^2} \quad (4-ث)$$

$$t_{30} = 9200 \cdot \frac{h}{dm^2} \quad (4-ج)$$

$h =$ ارتفاع سقوط ذرات داخل مایع به سانتی متر

$dm =$ کوچکترین قطر ذرات در رده دانه‌بندی انتخاب شده به μm

$t_p =$ زمان سقوط ذرات در سوسپانسیون به ثانیه در دمای محیط ($20^\circ C$)

برای موادی که وزن مخصوص (ρ) آنها غیر از ($\rho = 2/6 g/cm^3$) باشد، باید زمان سقوط را در فاکتور $f = \frac{1/6}{(\rho - 1)}$ ضرب کرد (در رابطه باید به جای ρ وزن مخصوص جدید وارد شود).

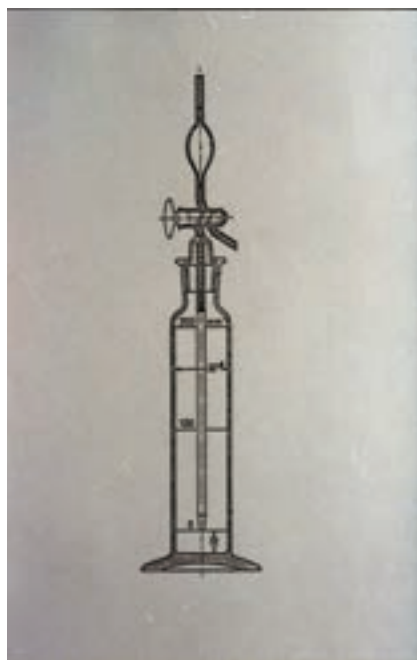
پس نتیجه‌گیری می‌شود که با مشخص بودن کوچکترین قطر ذرات در محدوده مشخص و ارتفاع سقوط ذرات، زمان سقوط برای دمای مشخص (دماهای آمده به صورت اندیس در جوار زمان سقوط t) قابل محاسبه است.

-اندازه‌گیری توزیع دانه‌بندی - روش رسوبی

روش آندریازن:

وسایل لازم:

استوانه ویژه اندازه‌گیری (شکل ۴-۱)



شکل ۴-۱ استوانه ویژه اندازه‌گیری دانه بندی روش آندریازن [۹]

این استوانه معمولاً شیشه‌ای (امروزه با توجه به توسعه پلیمر و مشتقات آن امکان ساخت استوانه پلاستیکی نیز وجود دارد) ضمن پشت پیدا بودن باید دارای ابعاد و حجم خاصی باشد. از طرفی با هر مرتبه نمونه برداری (۱۰ میلی‌لیتر) باید ارتفاع سطح مایع مشخص باشد زیرا در رابطه‌های ۴-الف - ۴-ج در صورت کسر ارتفاع آمده است که باید دقیقاً قابل

کنترل و اندازه‌گیری باشد. معمولاً درجه بندی تغییرات سطح آب روی دیواره خارجی استوانه بر حسب سانتی‌متر است ولی در عمل نیاز به مقیاس ریزتر طول یعنی میلی‌متر می‌باشد. با چسبانیدن نوار یک کاغذ میلی‌متری روی سطح بیرونی استوانه امکان کنترل میلی‌متری تغییرات ارتفاع سطح سوسپانسیون موجود در استوانه وجود دارد. در پی‌پت سرخود استوانه دارای یک شیر سه جهته شیشه‌ای، یک پی‌پت در زیر شیر، یک مخزن با حجم ۱۰ میلی‌لیتر مجهز به یک خروجی جهت مکش در بالای شیر و یک مجرای خروج سوسپانسیون است. شیر سه جهته این امکان را فراهم می‌کند که از یک مسیر ارتباط بین پی‌پت و مخزن ۱۰ میلی‌لیتری فراهم گردد (مسیر مکیدن سوسپانسیون موجود در استوانه و هدایت به داخل ظرف موجود در بالای شیر)، از مسیر دیگر که ارتباط بین مخزن ۱۰ میلی‌لیتری و پی‌پت را قطع می‌کند و ارتباط با مجرای خروج را برقرار می‌کند سوسپانسیون مکیده شده تخلیه گردد و در حالت سوم کلاً برقراری دو ارتباط قبلی وجود نداشته باشد.

به منظور کسب تجربیات لازم جهت انجام دقیق‌تر آزمون توصیه می‌شود ابتدا یک پیش‌آزمون با رعایت موارد زیر انجام شود:

- تعیین تغییرات ارتفاع مایع نسبت به سطح مایع:

برای کالیبره کردن و تعیین مقدار کم شدن ارتفاع سوسپانسیون در هر نمونه برداری ۱۰ میلی‌لیتری از استوانه باید آزمونی با بکارگیری آب شهر صورت گیرد. برای این منظور در استوانه شیشه‌ای پی‌پت سرخود برداشته و داخل استوانه تا ۵mm مانده به ارتفاع ۲۰۰mm مشخص شده روی استوانه (یعنی تا ارتفاع ۱۹۵ میلی‌متری) آب ریخته می‌شود. پی‌پت و در استوانه‌ای شیشه‌ای پی‌پت سرخود در جای خود روی استوانه قرار می‌گیرد، حالتی از شیر دو طرفه انتخاب می‌شود که ارتباط بین پی‌پت و مخزن ۱۰ میلی‌لیتری بالای شیر برقرار گردد. با مک زدن از طریق مجرای موجود در بالای مخزن ۱۰ میلی‌لیتری (به این مجرای مکش برای راحتی در مکش یک شیلنگ مناسب ظریف حدود ۳۰ سانتی‌متری وصل می‌شود) ضمن پر کردن پی‌پت باید مایع تا زیر شیر سه جهته مکیده شود و سپس شیر بسته شود. با بلند کردن جزئی در پی‌پت سرخود به کمک آبفشان آب داخل استوانه افزوده می‌شود تا سطح مایع (تقریباً) به علامت ۲۰۰mm برسد (در بعضی از دستگاه‌ها سوراخ ویژه ریختن مایع وجود دارد که ضمناً تعادل بین فشار هوای داخل و خارج استوانه را برقرار می‌کند). حال در حالی که در پی‌پت سرخود روی استوانه قرار دارد با باز کردن مجدد شیر و برقراری ارتباط بین مخزن و پی‌پت و دمیدن در آن آب موجود در پی‌پت به داخل استوانه برگردانده شود و شیر بسته می‌شود. با برقراری ارتباط بین پی‌پت و مخزن ۱۰ میلی‌لیتری ۱۰ میلی‌لیتر آب از طریق شیلینگ مکیده می‌شود. این ۱۰ میلی‌لیتر و ۱۰ میلی‌لیترهای بعدی که در حین آزمون برداشته می‌شوند، باید برای افزایش دقت نتایج در فاصله زمانی ۲۰ ثانیه و با ثابت ماندن سرعت مکش و یکنواختی آن توأم باشد.

۱۰ میلی‌لیتر آب مکیده شده با چرخاندن شیر پی‌پت و برقراری ارتباط آن با مجرای خروج به داخل ظرف کوچک تخلیه

می شود. پس از تخلیه به کمک آبفشان آب از طریق مجرای مخزن ۱۰ میلی لیتری به داخل آن برای شستشو اضافه می شود. آب شستشو به ظرفی که در آن ۱۰ میلی لیتر آب قبلاریخته شده بود، افزوده می شود و برای خروج آب موجود در مخزن و خروجی از طریق شیلنگ با احتیاط دمیده می شود. در کلیه مراحل شامل مکش، تخلیه، باز و بستن شیر و دمیدن نباید استوانه تکان بخورد. دلیل انجام این پیش آزمون شناختن روش، حساسیت ها و عوامل تاثیر گذار بر نتایج آزمون است.

در هنگام نمونه برداری سطح مایع موجود در پی پت به دلیل مکش و بستن شیر بعد از مکش بالاتر از سطح مایع استوانه شیشه ای است. با باز نمودن شیر بعد از نمونه برداری و برقراری ارتباط بین مخزن ۱۰ میلی لیتری و پی پت ناچاراً مایع موجود در پی پت از زیر شیر به سطح مایع استوانه بر می گردد آنچه باعث گردابی شدن سوسپانسیون می گردد. پس باید هنگام باز کردن شیر به دو مسئله توجه شود: اول رعایت احتیاط هنگام باز کردن شیر و دوم باز کردن بلادرنگ شیر پی پت پس از نمونه برداری و تمیز کردن محفظه ۱۰ میلی لیتری. لازم به یادآوری است که نحوه باز کردن شیر در کلیه مراحل نمونه برداری باید یکسان بماند. چون انجام آزمون معمولاً چند روز طول می کشد باید فضائی که در آن آزمون انجام می گیرد آرام و عاری از نوسانات دمائی باشد. وابستگی ویسکوزیته آب از دما که نقش خود را در اعداد (فاکتور ثابت) در رابطه های ۴-الف - ۴-ج نشان می دهد، عاملی است که نشان می دهد به ثابت ماندن دمای محیط آزمون در طول انجام آزمون باید توجه خاص گردد.

شرح آزمایش:

وسایل لازم:

- ۱- الک مش ۲۳۰ (۶۳ میکرون) ۱ عدد
- ۲- خشک کن
- ۳- دستگاه اندازه گیری دانه بندی به روش آندریازن با ویژگی های زیر:
 - A - ارتفاع کف استوانه شیشه ای تا سطح مایع ۲۵۰ میلی متر
 - B - قطر داخلی استوانه شیشه ای ۵۰ میلی متر
 - C - حجم استوانه شیشه ای ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی لیتر.
- ۴- ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم
- ۵- جام چینی و یا بشر (جهت خشک کردن مانده >۶۳ میکرون) ۱ عدد
- ۶- کائولین شسته تقریباً ۲۰ گرم (مانده >۹۰ میکرون بند ۴-۱)
- ۷- دماسنج (ترمو متر) °C ۱۰۰ یک عدد
- ۸- آب مقطر تقریباً ۱ لیتر

۹- ناوک چینی یا نیکی با حجم تقریبی ۴۰ میلی لیتر ۱۰ عدد.

۱۰- لوله آزمایش ۱۰ عدد

۱۱- ظرف پلاستیکی دردار به حجم تقریبی ۱ لیتر ۱ عدد

۱۲- جارمیل برای چرخاندن ظرف پلاستیک حاوی سوسپانسیون (آب و نمونه)

۱۳- محلول آمونیاک n/۱۰۰ (۱/۱۰۰ نرمال)

۱۴- محلول ۰/۰۰۲ مول در لیتر (۰/۰۰۲ mol/l) پیرو فسفات سدیم که با حل کردن ۰/۸۹۲ گرم $(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ در یک بالن ژوژه ۱۰۰۰ میلی لیتری و رسانیدن حجم آن با آب مقطر به یک لیتر حاصل می شود.

-آماده سازی نمونه

از آزمون خشک شده در دمای $5 \pm 10.5^\circ\text{C}$ به مقدار $1 \pm 0.05\text{g}$ به ازای هر ۱۰۰ میلی لیتر حجم استوانه شیشه ای دستگاه آندریازن وزن می شود و به ازای هر گرم ۶۰ میلی لیتر از مایع بازکننده اضافه می گردد.

مایع بازکننده عبارت است از آب مقطر که به آن پپتیزاتور (Peptisator) اضافه شده باشد. پپتیزاتور می تواند آمونیاک (NH_4OH) یا پیروفسفات سدیم $(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ باشد.

برای تخمین مقدار و نوع پپتیزاتور در چند لوله آزمایش مقادیر برابری از آزمون خشک افزوده می شود. مقدار مشخصی آب باید به هر لوله آزمایش اضافه شود تا وزن مخصوص دوغاب در تمامی لوله های آزمایش یکسان باشد. در دوغاب های موجود در شیشه های آزمایش باید ضمن ثابت ماندن % آب و ماده خشک % پپتیزاتور تغییر نماید. ضمناً دو نوع پپتیزاتور مطرح می باشند.

همانند آزمون روانسازی برای ثابت ماندن دانسیته و تغییر نمودن % پپتیزاتور باید از محلولی با غلظت مشخص پپتیزاتور (محلول آمونیاک ۱/۱۰۰ نرمال یا محلول پیروفسفات سدیم ۰/۰۰۲ مول در لیتر) استفاده گردد. پس از افزودن محلول پپتیزاتور به ماده اولیه مابه التفاوت آب برای رسیدن به دانسیته ثابت از طریق آب مقطر جبران می شود. پس از تکان دادن کافی لوله های آزمایش به همراه سوسپانسیون موجود در آن ها برای تاثیر اثر پپتیزاتور به آن ها فرصت داده می شود. نباید در سوسپانسیون های موجود در لوله های آزمایش بین مایع باز کننده و مواد سفت موجود در آن پس از تکان دادن و به حال خود گذاردن جدایش اتفاق بیفتد (فلوکوله نشود). نوع و % پپتیزاتور مایع بازکننده ای بهترین است که با آن مواد معلق موجود در سوسپانسیون از بالا به طرف پایین متراکم تر شوند.

پس از بررسی و تعیین نوع پپتیزاتور اگر پیرو فسفات سدیم انتخاب شد باید بر اساس % مناسب پپتیزاتور از محلول پپتیزاتور مربوطه محلول با غلظت مناسب به عنوان باز کننده تهیه گردد. برای باز شدن کامل ماده اولیه آزمایشی در یک جام چینی یا یک ظرف مناسب دیگر اقدام به افزودن مقداری از مایع باز کننده (محلول پیروفسفات سدیم با غلظت مناسب تهیه

شده از محلول مادر ۰/۰۰۲ مول در لیتر) به آن گردد. ابتدا مخلوط مایع باز کننده و آزمون در جام چینی به کمک قلم مو خرد می شود. سرانجام سوسپانسیون حاصل در یک ظرف پلاستیکی دردار کاملاً کیپ ریخته می شود. ظرف پلاستیکی به مدت ۱۲ یا ترجیحاً ۲۴ ساعت روی جارمیل در حالت عمود بر غلتک جارمیل چرخانیده می شود (سوسپانسیون باید در حین چرخش غلتک جارمیل از کف ظرف پلاستیکی به سمت در آن حرکت کند). پس از گذشت زمان یاد شده برای جدا شدن دانه‌های درشت سوسپانسیون روی الک ۶۳ میکرون (مش ۲۳۰) تخلیه می شود (چون سوسپانسیون عبوری از الک برای آزمون آندریازن مورد استفاده قرار می گیرد نباید حتی ذره‌ای از آن در حین الک کردن وغیره نابود شود).

مانده روی الک با ۱۰۰ ml مایع بازکننده شسته می شود و مایع از الک گذشته به سوسپانسیون عبور کرده از الک ۶۳ میکرون افزوده می شود. مانده روی الک مش ۲۳۰ را در $10.5 \pm 5^\circ C$ خشک کرده و پس از سرد شدن به دمای محیط توزین می شود. این مانده دانه‌های ≥ 63 میکرون ماده اولیه را نشان می دهد. سوسپانسیون از الک گذشته به صورت کمی (با احتیاط کامل بدون هدر رفتن کوچکترین ذره ای از آن) به داخل استوانه شیشه‌ای آندریازن منتقل می شود. بقیه مایع بازکننده به استوانه افزوده می شود تا سطح مایع تا ارتفاع ۱۹۵ میلی متری برسد. با قرار دادن در پی پت دار استوانه در جای خود و مکش مایع به داخل پی پت تا زیر شیر سه جهته شیر را در حالتی قرار دهید که مایع در پی پت بماند. با بلند کردن یا کج کردن در به استوانه مایع باز کننده تا رسیدن سطح مایع به ارتفاع ۲۰۰ میلی متر افزوده می شود.

دمای محیط (استوانه باید در محلی که برای چند روز در آن نوسانات دمای محیط صورت نمی گیرد و مصون از وزش باد، ارتعاش، لرزش و تردد است برای نمونه برداری و انجام آزمون قرار داده شود، لذا قبل از شروع آزمون به انتخاب محل مناسب توجه شود) باید اندازه گیری شود زیرا برای محاسبه زمان‌های مکش رابطه مناسب از بین رابطه‌های ۴- الف - ۴- ج انتخاب شود (رابطه‌های مناسب است که در آن پسوند (اندیس) زمان دمای محیط اندازه گیری شده باشد).

با دادن کوچکترین اندازه ذره در محدوده تعیین دانه بندی و ارتفاع مایع در استوانه زمان رسیدن ریز ترین ذرات آن محدوده دانه بندی به انتهای پی پت (محل ورود مایع به داخل پی پت) مشخص می شود. چون در پیش آزمون تغییرات سطح مایع نسبت به برداشت های متوالی تعیین شد پس محاسبه زمان های برداشت آسان است. پس از محاسبه زمان های برداشت باید زمان مناسب برای شروع آزمون تعیین گردد تا زمان های برداشت مصادف با شب، تعطیلات و آخر هفته نشود.

دو نمونه مدتی کوتاه قبل از آغاز آزمون برداشته می شود که نمونه‌های زمان صفر هستند. برای برداشت این نمونه‌ها تکان دادن کافی و مخلوط شدن سوسپانسیون موجود در استوانه بدون تلف شدن سوسپانسیون لازم است. پس از مخلوط سازی اولین نمونه ۱۰ میلی لیتری زمان صفر با مکش از طریق شیلنگ متصل به خروجی ظرف ۱۰ میلی لیتری برداشت می شود. تخلیه نمونه صفر در ناوک چینی (ناوک با آب مقطر شسته، خشک شده در خشک کن، خنک شده در دسیکاتور به دمای محیط و توزین شده با دقت ۰/۰۰۱ گرم)، شستشوی محفظه ۱۰ میلی لیتری با آب مقطر و افزودن آب شستشو به ناوک انجام می گیرد. برداشت نمونه صفر دوم بلادرنگ بعد از برداشت نمونه اول انجام شده و در ناوک دیگری تخلیه می شود.

ناوک‌ها برای خشک شدن در دمای 5 ± 10.5 درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده می‌شوند. با کم کردن وزن ناوک‌ها از وزن خشک نمونه‌های صفر داخل ناوک‌ها وزن خشک نمونه‌های صفر که با G_0 نشان داده می‌شود، مشخص می‌شوند. به صورت قراردادی از وزن نمونه صفری در محاسبات بعدی استفاده می‌شود که بزرگتر است. مورد دیگر که برای تعیین زمان نمونه‌برداری غیر از تغییرات ارتفاع مایع داخل استوانه مطرح است، انتخاب قطر دانه است. در یک محدوده دانه‌بندی همیشه مرز پایینی محدوده برای محاسبات انتخاب می‌شود. برای ملموس تر شدن مطالب آمده در این آزمون اقدام به شرح یک مثال می‌شود:

برای یک بالکلی با وزن مخصوص $\rho_s = 2.67 \text{ g/cm}^3$ باید توزیع دانه بندی به روش آندریازن و برای محدوده‌های دانه‌بندی زیربه میکرون (μm) اندازه‌گیری شود:

>63

<63-20

<20-6/3

<6/3-2

<2

قبلا ذرات $63 \mu\text{m} >$ به وسیله الک 63 میکرون (مش 230) جدا شده‌اند.

برای تعیین % دانه‌های $63 \mu\text{m} <$ از روش آندریازن استفاده شده است.

برای باز نمودن ماده اولیه از محلول 1/100 نرمال آمونیاک به عنوان پیتیزاتور استفاده شده است.

حجم استوانه تا ارتفاع 200 میلی‌متر برابر 574 میلی‌لیتر است

وزن ماده اولیه خشک با توجه به حجم استوانه (به ازاء هر 100 میلی لیتر حجم 1 گرم ماده اولیه) موجود برابر

$1 \text{ g} / 0.05 \pm$ در سوسپانسیون است. بنابراین هر 10 میلی‌لیتر سوسپانسیون کاملاً همگن حاوی 0.087 گرم بالکلی است

($0.087 = 0.087 \times 10 = \frac{5}{574}$) که معادل نمونه زمان صفر است.

$$\frac{5(\text{g}) \times 10(\text{ml})}{574(\text{ml})} = 0.087 \text{ g} \quad (\text{چ-4})$$

دمای محیط برابر 20°C و ارتفاع اولیه سوسپانسیون 200 میلی‌متر است. پس از برداشتن دو نمونه زمان صفر ارتفاع

سوسپانسیون به 190 mm رسید و با برداشت هر نمونه بعدی ارتفاع مایع به اندازه 5 mm کاهش داشت. وزن نمونه‌های

صفر خشک شده به قرار زیر است:

$$I \text{ نمونه زمان صفر} = 0.087 \text{ g}$$

$$II \text{ نمونه زمان صفر} = 0.085 \text{ g}$$

با توجه به محاسباتی که قبلاً برای نمونه صفر انجام گرفت، وزن نمونه زمان صفر I که بیشتر است و طبق قرار داد باید انتخاب شود با G_0 نشان داده می شود در محاسبات بعدی بکار گرفته می شود. برای فراگیری روش محاسبات برای نمونه شماره ۱ انجام محاسبات صورت می گیرد (زمان های برداشت نمونه ها بر پایه زمان صفر t_0 است و آن عبارت از زمانی است که پس از برداشتن نمونه های زمان صفر، تکان دادن کافی استوانه و قراردادن آن در جای مناسب برای نمونه برداری های بعدی آغاز می شود):

$$t_1(20^\circ\text{C}) = \frac{11500 \times 19/0}{(20)^2} \times \frac{1/6}{(\rho_s - 1)} = 524s = 8\text{min}, 44s$$

ارتفاع ۱۹۰ میلی متر یا ۱۹ سانتی متر است زیرا دو نمونه صفر برداشت شده است. چون دانسیته بالکلی غیر از ۲,۶ گرم به سانتی متر مکعب می باشد باید در فاکتور تبدیل مربوطه (۰/۹۶) ضرب شود. چون محدوده تعیین دانه بندی ۲۰-۶۳ میکرون است پس کوچکترین محدوده دانه بندی که ۲۰ میکرون است در محاسبات منظور گردیده است. در نتیجه زمان برداشت نمونه ۱ قابل محاسبه است (۵۲۴s).

در ادامه به محاسبه زمان های برداشت سایر نمونه ها پرداخته می شود که نتایج محاسبات در جدول ۴-۱ مشاهده می شود.

جدول ۴-۱- زمان های نمونه برداری محاسبه شده

	زمان برداشت			محدوده دانه بندی به μm	ارتفاع به cm	f	شماره نمونه
	h	min	s				
	.	.	.	۶۳-۰	۲۰/۰	۰/۹۶	.
$t_1 - t_0 = t_1$.	۸	۴۴	<۶۳-۲۰	۱۹/۰	۰/۹۶	۱
$t_2 - t_0 = t_2$	۱	۲۵/۵	.	<۲۰-۶۳	۱۸/۵	۰/۹۶	۲
$t_3 - t_0 = t_3$	۱۳	۴۵	.	<۶۳-۲	۱۸/۰	۰/۹۶	۳
				<۲			مانده

پس از نمونه برداری در زمان های محاسبه باید نمونه ها در دمای 10.5 ± 5 درجه سلسیوس خشک و سپس توزین گردند زیرا برای محاسبه % محدوده دانه بندی احتیاج به وزن خشک نمونه ها است. وزن ها با توجه به شماره نمونه ها با G_1 و G_2 و G_3 نشان داده می شوند. در جدول ۴-۲ وزن خشک نمونه های صفر و نمونه های محدوده های مختلف

دانه بندی به همراه تفاضل بین وزن ها آمده است. تفاضل از تفریق مجموع وزن خشک نمونه های برداشته شده از استوانه و توزین اولیه (۵ گرم) به دست می آید.

جدول ۲-۴- وزن نمونه هادر محدوده های مختلف دانه بندی

محدوده دانه بندی به μm	وزن خشک به g	وزن خشک به g	شماره نمونه
۶۳ - ۰	$G_0 = 0.0870$	$G_0 - G_1 = 0.025$	۰
۶۳ - ۲۰	$G_1 = 0.062$	$G_1 - G_2 = 0.011$	۱
۲۰ - ۶/۳	$G_2 = 0.051$	$G_2 - G_3 = 0.017$	۲
۶/۳ - ۲	$G_3 = 0.034$	$G_3 = 0.034$	۳
< ۲			باقیمانده

مانده $63\mu\text{m} >$ با توجه به توزین اولیه که $100 \pm 0.5\text{g}$ بالکلی خشک است، برابر $11/8\text{g}$ بوده که معادل $11/8\%$ می باشد. در ادامه محاسبات از گرد شده این عدد که ۱۲ می باشد، استفاده می شود. با توجه به توزین اولیه که ۵ گرم بود و همراه با مایع بازکننده به استوانه شیشه ای افزوده شد و وزن نمونه های خشک شده از محدوده های مختلف دانه بندی (G_0, G_1, G_2, \dots) امکان محاسبه $\%$ سهمیه های محدوده های مختلف وجود دارد آنچه در جدول ۳-۴ مشاهده می شود.

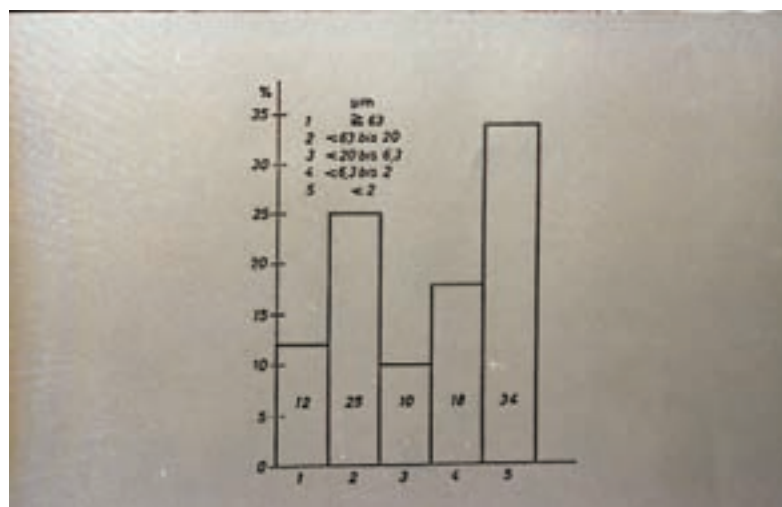
برای مثال $\%$ سهمیه محدوده دانه بندی ۲۰-۶۳ میکرون عبارت است از:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.025 + 0.010 + 0.018 + 0.034 = 0.087 \\ \frac{100}{0.087} \times 0.025 = 28.7\% \approx 28/5\% \end{array} \right.$$

در نمودار آمده در شکل ۲-۴ نتایج جدول ۳-۴ به صورت بلوکی رسم شده است. در تصویر ۳-۴ دستگاه (پی پت) آندریازن در عمل دیده می شود.

جدول ۳-۴. % محدوده دانه‌بندی های مختلف

محدوده دانه‌بندی به μm	سهیمه محدوده دانه‌بندی بر مبنای وزن دانه‌های < 63 (۵ گرم) به %	سهیمه محدوده دانه‌بندی بر مبنای وزن خشک کل نمونه (۱۰۰ گرم) به %
> 63	—	$100 - 88 = 12$
$< 63 - 20$	۲۸/۵	$(88 \times 28/5) / 100 = 25$
$< 20 - 6/3$	۱۳	$0/88 \times 13 = 11/5$
$< 6/3 - 2$	۱۹/۵	$0/88 \times 19/5 = 17$
< 2	۳۹	$0/88 \times 39 = 34/5$
جمع	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰



شکل ۲-۴ نتیجه دانه بندی بالکلی در قالب دیاگرام بلوکی



شکل ۴-۳- استوانه شیشه ای آندریازن در عمل

۴-۱-۲- اندازه گیری وزن مخصوص به کمک پیکنومتر

وزن مخصوص یکی از خواص فیزیکی مهم ماده است. به کمک وزن مخصوص می توان یک ماده مجهول الهویه را شناسائی کرد به شرط آن که دقت روش اندازه گیری کافی باشد. تفاوت در وزن مخصوص برخی از مواد رقم دهم گرم بر سانتیمتر مکعب است (مثال تشخیص سنگ گچ دارای مینرال اصلی ژیپس با وزن مخصوص ۲/۳ گرم به سانتی متر مکعب از فلدسپات با مینرال اصلی ارتوکلاز با وزن مخصوص ۲/۶ گرم به سانتی متر مکعب). اگر دقت اندازه گیری کافی نباشد و اولین رقم بعد از ممیز وزن مخصوص نتواند با دقت تعیین شود، امکان تشخیص دو ماده (مینرال) اشاره شده در بالا از یکدیگر فراهم نمی شود، زیرا عدد قبل از ممیز آن ها ۲ و برابر یکدیگر است.

وزن مخصوص از رابطه (۴-ح) محاسبه میشود:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4-ح)$$

ρ = وزن مخصوص به g/cm^3

m = وزن ماده اولیه به g

v = حجم ماده اولیه به cm^3

برای تعیین وزن مخصوص به وزن ماده و حجم آن احتیاج است که دقت عمل آن به حساسیت و دقت وسایل اندازه‌گیری مربوط می‌شود. با استفاده از پیکنومتر و لحاظ دقت کافی می‌توان وزن مخصوص ماده را با دقت ۰/۱ گرم به سانتیمتر مکعب تعیین کرد. اندازه‌گیری وزن مخصوص با دقت یک دهم مستلزم وجود وسایلی است:

- ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم برای تعیین وزن
- پیکنومتر برای تعیین وزن مخصوص با توجه به دمای تعیین شده برای آن که در حضور بن ماری جوش (حمام آب با امکان تنظیم دمای آب) امکان پذیر است.

شاید امکانات یاد شده در مراکز آموزشی دوره متوسطه موجود نباشد، لذا دستورالعمل آزمون برای بالن ژوژه به جای پیکنومتر نوشته می‌شود. روش اندازه‌گیری همان روش پیکنومتری است که در آن دقت کمتر است و دقت در رقم بعد از ممیز وجود ندارد زیرا تعیین حجم به کمک بالن ژوژه به مراتب نسبت به اندازه‌گیری آن توسط پیکنومتر کمتر است. در شکل ۴-۴ پیکنومتر در مجاورت دسیکاتور و بوته چینی نشان داده شده است.



شکل ۴-۴- پیکنومتر، بوته چینی و دسیکاتور

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ماده اولیه خشک شده در $5^{\circ}\text{C} \pm 10.5$ به مقدار تقریبی ۱۵۰ گرم (ماده اولیه در این آزمون دانه‌های درشت >90 میکرون جدا شده از کائولین در فرآیند کائولین شویی است).
- ۲- دسیکاتور
- ۳- بالن ژوژه با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر و یا ۱۰۰۰ میلی‌لیتر ۱ عدد
- ۴- خشک‌کن
- ۵- ترازو با دقت ۰/۱ گرم (ترجیحاً ۰/۰۱ گرم)

۶- قاشق ۱ عدد

۷- قیف شیشه‌ای یا پلاستیکی ۱ عدد

۸- آبه‌فشان

۹- بن ماری جوش (حمام آب)

۱۰- آب شهر (ترجیحاً آب مقطر) تقریباً ۱ تا ۱/۵ لیتر

۱۱- ظرف توزین اعداد

شرح آزمایش: بالن ژوژه را پس از شستن و آبکشی (ترجیحاً با آب مقطر) در خشک‌کن و دمای 5 ± 10.5 °C درجه سلسیوس قرار دهید. پس از خشک شدن و خنک شدن به دمای محیط آن را با دقت ۰/۱ گرم توزین کرده و وزن خالی (A) را در جدولی (مشابه جدول ۴-۴) ثبت کنید. به بالن ژوژه تا خط (علامت) آب افزوده و با در آن را وزن کنید (m_p) به ازای هر ۱۰۰ میلی‌لیتر حجم بالن ژوژه مقدار تقریبی ۱۰ گرم آزمون خشک شده در 5 ± 10.5 °C و در دسیکاتور به دمای محیط خنک شده را در ظرف توزین (B) وزن کنید (وزن آزمون به E نشان داده می‌شود). آزمون را توسط قیف شیشه‌ای و یا پلاستیکی آزمایشگاهی به بالن ژوژه خالی بیفزایید. با استفاده از آبه‌فشان از طریق قیف (برای انتقال ماده چسبیده احتمالی به قیف) به بالن ژوژه تقریباً تا نصف آب بیفزایید. در بالن ژوژه را بسته با تکان دادن مکرر آزمون و آب را خوب مخلوط کنید. مجدداً آب تا نزدیکی دهانه باریک بالن ژوژه اضافه نمائید و پس از تکان دادن کافی آن را برای مدت ۱۰ دقیقه برای از بین رفتن کف احتمالی در سطح مایع در گوشه‌ای قرار دهید. با برداشتن در و شستن آن به کمک آبه‌فشان به نحوی که آب شستشو به داخل بالن ژوژه هدایت شود، تا تقریباً ۲ سانتی‌متر مانده به خط نشانه بالن ژوژه آب بیفزایید. حال بالن ژوژه را، در صورت موجود بودن بن ماری جوش، برای تثبیت دما به مدت ۶۰ دقیقه روی حمام آب که روی دمای $25 - 20$ °C تنظیم شده باشد، قرار دهید. در صورت نبودن حمام آب با حذف این مرحله آزمون را ادامه دهید.

جدول ۴-۴: ویژه ثبت اطلاعات آزمون وزن مخصوص

مقدار	واحد	علامت	
	g	B	وزن ظرف توزین
	g	A	وزن بالن ژوژه خالی
	g	E	وزن آزمون
	g	m_p	وزن بالن ژوژه و مایع
	g	m_1	وزن بالن ژوژه، آزمون و مایع
برای آب ۱	g/cm^3	ρ_1	وزن مخصوص مایع
	g/cm^3	ρ	وزن مخصوص آزمون

با افزودن آب توسط آبفشان به همراه شستن احتمالی مواد چسبیده به دهانه سطح آب را تا خط نشانه بالن ژوژه برسانید (سطح مقعر مایع باید در راستای خط نشانه قرار گیرد). بالن ژوژه پر شده توسط آزمون و آب را (جداره خارجی بالن ژوژه باید کاملاً خشک باشد و در صورت مرطوب بودن آن را با پارچه تمیز خشک کنید) توزین کرده و وزن (m_1) آن را در جدول ۴-۴ یادداشت کنید.

محاسبات

به کمک رابطه (۴-خ) و اطلاعات یادداشت شده در جدول ۴-۴ می‌توان وزن مخصوص را محاسبه کرد:

$$\rho = \frac{E \times \rho_1}{m_p + E - m_1} \quad (4-x)$$

۴-۲- مواد اولیه غیرپلاستیک

مواد اولیه غیرپلاستیک با کاربرد وسیع در صنعت سرامیک معمولاً به صورت سنگ در طبیعت یافت می‌شوند. کوارتز، فلدسپات و مواد اولیه مشابه آنها به دلیل سختی بالا باید به کمک سنگ‌شکن و آسیاب به پودر تبدیل شوند. توزیع دانه-بندی در فرآیند تولید، کیفیت محصول و رفع برخی از عیوب تولیدات نقش دارد. دانه‌بندی در حمل و نقل مواد اولیه و حجمی که در موقع ترانسپورت توسط ماده اشغال می‌شود، مؤثر است. پس آشنایی با توزیع دانه‌های ماده اولیه آماده‌سازی شده مهم است.

۴-۲-۱- خرد و پودر کردن ماده اولیه سخت: خرد کردن ماده اولیه سخت به این منظور صورت می‌گیرد که آمادگی برای پودر کردن بعدی وجود داشته باشد.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ماده اولیه سخت (کوارتز، فلدسپات و ...) به مقدار تقریبی ۴۰۰۰ گرم
- ۲- سطل پلاستیکی متوسط ۱ عدد
- ۳- سنگ‌شکن فکی، چکشی و یا نوع دیگر
- ۴- الک مش ۵ (در صورت موجود نبودن الک درشت بنایی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد)
- ۵- آسیاب شیلی (مالشی)، جارمیل و ... (در صورت موجود نبودن استفاده از هاون توصیه می‌شود).
- ۶- سینی یا کاسه فلزی ۱ عدد
- ۷- ترازو با دقت ۱ گرم

شرح آزمایش: تقریباً ۴ کیلوگرم از کلوخه‌ها مورد آزمون را توزین کنید. ماده اولیه خرد شده را ابتدا با توجه به سایز ورودی به سنگ شکن به کمک چکش یا پتک پیش خرد کنید. با توجه به نکات ایمنی از دستگاه سنگ شکن برای خرد کردن ماده اولیه استفاده کنید. ماده خرد شده را از الک مش ۵ عبور داده و عبوری از الک را به کمک آسیاب به پودر تبدیل کنید. مانده روی الک را برای آزمون وزن مخصوص انباشتگی نگاه‌داری کنید. عبوری از الک را در کاسه و یا سینی فلزی ریخته و برای دانه‌بندی به روش تر و خشک آن را در دمای $5 \pm 10.5^\circ\text{C}$ خشک کنید.

۴-۲-۲-اندازه گیری خواص

۴-۲-۲-۱-دانه بندی به روش تر

در این آزمون که هدف از آن تفکیک و تعیین محدوده ذرات موجود در یک پودر ماده اولیه است، از روش دانه بندی تر، که در آن آب نقش کمکی را بازی می‌کند، استفاده می‌شود. اصولاً در ساختن توری الک تا مش ۴۰۰ که معادل ۳۵ میکرون است، محدودیتی وجود ندارد. برای مشخص نمودن توزیع بندی ذرات ریزتر باید از روش‌های رسوبی، شناوری و ... استفاده شود که با روش آندریازن که رسوبی است، در همین فصل آشنا شدید. ناگفته نماند که امروزه از دستگاه‌های مانند PSA برای تعیین دانه بندی ذرات ریز استفاده می‌شود.

دستورالعمل این آزمون برای اجرا توسط دو نفر پیش بینی شده است، لذا توصیه میشود این آزمون در گروه‌های دو نفری انجام گیرد.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ماده اولیه خرد شده و خشک شده در $5 \pm 10.5^\circ\text{C}$ به مقدار تقریبی ۳۰۰ گرم (عبور کرده از الک ۴ میلی‌متر یا مش ۵)
- ۲- سطل پلاستیکی ۱۵ لیتری ۲ عدد
- ۳- سطل کوچک پلاستیکی یا پارچ پلاستیکی ۱ عدد
- ۴- آب شهر
- ۵- تعداد ۵ الک در محدوده مش ۵۰ تا ۱۷۰ (اندازه الک‌ها در این آزمون اختیاری است و تابع امکانات آزمایشگاه است)
- ۶- آبفشان
- ۷- بشر شیشه‌ای (شیشه مربا بدون در) ۵ عدد
- ۸- خشک کن
- ۹- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

شرح آزمایش: ۵ بشر شیشه‌ای ۳۰۰ میلی‌لیتری یا ۵ شیشه مربا بدون در را شسته و آنها را در خشک‌کن خشک کنید. ظروف را پس از خنک شدن به دمای محیط با دقت ۰/۱ گرم توزین کنید (قبلاً به کمک برچسب یا ماژیک شیشه‌ها را شماره گذاری کنید) و وزن خالی شیشه را در جدول مشابه جدول ۴-۵ یادداشت کنید. یک سطل پلاستیکی به حجم تقریبی ۱۵ لیتر را تمیز شسته و در آن ۲۵۰ گرم (دقت ۰/۱ گرم) پودر ماده اولیه در دمای $5 \pm 10.5^\circ\text{C}$ خشک شده بیفزائید. آب شهر تا تقریباً یک سوم سطل اضافه کنید. با همزدن مخلوط به کمک میله آن را دوغابی کنید.

توجه: الک‌ها وسیله‌های با ارزش و گران‌قیمتی هستند. باید تلاش نمود که به آن‌ها صدمه ای وارد نشود. توری الک حساس‌ترین و گران‌قیمت‌ترین قسمت یک الک است که باید از هرگونه ضربه و اعمال نیروی مکانیکی مصون بماند. بعضی از دانه‌ها (دانه‌های مرزی) به سختی از چشمه‌های الک خارج می‌شوند. استفاده از ابزار برنده و تیز برای خارج کردن دانه‌های مرزی مجاز نیست. برای تمیز کردن الک‌ها بهترین وسیله هوای فشرده و یا آب شهر با فشار معمولی است. ضربه زدن با دست به کلاف الک نیز به خروج دانه‌های مرزی از چشمه‌های الک کمک می‌کند.

سطل پلاستیکی ۱۵ لیتری دومی شسته را بردارید و درشت‌ترین الک (مش ۵۰) را در دهانه آن بگیرید. کل دوغاب موجود در سطل اول را به کمک پارچ روی الک بریزید تا از آن عبور کرده و به سطل دوم منتقل شود (برای جلوگیری از هدر رفتن دوغاب سطل‌ها چسبیده به یکدیگر باشند).

اگر الک از دوغاب پر شد و عبور مشکل شد با کف دست چند ضربه ملایم به کلاف الک بزنید. سطل اولی پس از خالی شدن را با تقریباً ۵۰۰ میلی‌لیتر آب شهر شسته و از طریق الک داخل سطل دوم تخلیه کنید. در هنگام شستشو در مصرف آب صرفه‌جویی شود تا در مراحل بعدی که مجدداً شستشو انجام می‌گیرد حجم دوغاب از حجم سطل بیشتر نشود. مانده روی الک را با کمک آبفشان به نحوی بشویید که آب به داخل سطل دوم بریزد. با کج کردن الک و به کمک آبفشان مانده را به گوشه الک هدایت کنید. مانده را تا زمانی بشویید که آب عبوری کاملاً زلال شود. سپس مانده روی الک را با کمک آبفشان از روی توری به درون یکی از بشرها یا شیشه‌های وزن شده هدایت کنید. در صورتی که آب ورودی به شیشه زیاد شد، با قرار دادن شیشه به گوشه‌های منتظر ته‌نشین شدن مانده روی الک شوید و سپس با احتیاط آب اضافی را سرریز کنید. با این کار به خشک شدن سریعتر مانده روی الک کمک می‌کنید. برای سایر الک‌ها نیز مشابه عملیات انجام گرفته برای الک مش ۵۰ صورت دهید و به ترتیب انتقال دوغاب را از سطلی به سطل دیگر با عبور از الک قرار گرفته در دهانه آن انجام دهید. سرانجام شیشه‌های حاوی مانده‌ها را برای خشک شدن در خشک‌کن و در دمای $5 \pm 10.5^\circ\text{C}$ درجه سلسیوس قرار دهید. پس از خشک شدن و ثابت شدن وزن شیشه‌ها به همراه مانده‌های رو الک‌ها ی خنک شده به دمای محیط را با دقت ۰/۱ گرم توزین کنید. نتایج را در جدول ۴-۵ وارد کنید.

جدول ۴-۵: جدول پیشنهادی ثبت نتایج دانه بندی به روش تر

۶	۵	۴	۳	۲	۱	n
<					>	مش
						وزن شیشه و مانده به g
						وزن شیشه خالی به g
						مانده به g
						مانده R به %

محاسبات

با موجود بودن مانده های روی الک ها و توزین اولیه ماده اولیه می توان به کمک رابطه (۴-د) % مانده روی الک ها را محاسبه کرد. نتایج محاسبات را در جدول ۴-۵ وارد کنید.

$$\%R = \frac{E}{W} \times 100 \quad (4-d)$$

R = مانده روی الک به %

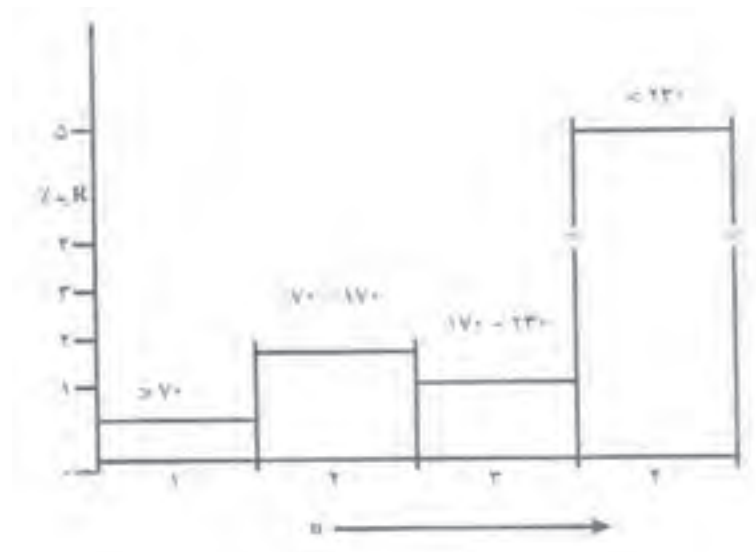
E = مانده روی الک به گرم

W = وزن ماده اولیه به گرم

مقدار (%) ذرات کوچکتر از ریزترین الک (بزرگترین مش) مورد استفاده قرار گرفته در این آزمون با کم کردن مجموع % مانده های روی الک ها از عدد ۱۰۰ به دست می آید. در جدول ۴-۶ دانه های مش >۲۳۰ چند بالکلی در رده های دانه-بندی مختلف آمده است.

جدول ۴-۶ توزیع دانه بندی چند بالکلی

بالکلی	رده دانه بندی			مانده روی الکته %
	۳	۴	۵	
	۰/۱	۰/۵	۰	۷۰ - مش
	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۴	۷۰-۱۷۰ مش
	۰/۱۳	۱/۲	۱/۱۲	۱۷۰-۳۳۰ مش
	۰/۴۹	۰/۳	۰/۸۲	۳۳۰ - مش
۱	بالکلی چرب گروس گروس			
۲	بالکلی زاتروپ			
۳	بالکلی وپتر شلیکو			



شکل ۴-۵- دیاگرام بلوکی توزیع دانه بندی بالکلی زاتزویر

با توجه به نتایج جدول ۴-۵ امکان رسم نتایج به صورت دیاگرام بلوکی با استفاده از دو پارامتر n و R در یک سیستم مختصات وجود دارد. در شکل ۴-۵ توزیع دانه بندی رسم شده به صورت بلوکی بالکلی شماره ۲ (زاتزویر) به کمک اطلاعات موجود در جدول ۴-۶ ملاحظه می شود.

۴-۲-۲-۲-دانه بندی به روش خشک:

در دانه بندی به این روش از آب به عنوان وسیله کمکی استفاده نمی شود ولی در مواردی از هوای فشرده کمکی بهره گرفته می شود که در این صورت تجهیزات ویژه این کار باید به همراه الک ها در سیستم لرزان دانه بندی تعبیه شده باشد. عامل اصلی کمکی برای عبور دانه ها در این روش لرزش است که توسط دستگاه شیکر^۱ (لرزاننده) تولید می شود. با این دستگاه در آزمایشگاه شکل دادن آشنا شدهاید. روی این دستگاه الک ها به ترتیب از درشت در بالا و ریزتر بعد از آن تا ریزترین که پایین ترین الک است، قرار می گیرند و شدت لرزش معمولاً روی دستگاه قابل تنظیم است.

روش عملی

وسایل لازم:

- ۱- ماده اولیه خرد شده و خشک شدن در $50 \pm 10.5^{\circ}C$ به مقدار تقریبی ۳۰۰ گرم (عبور کرده از الک مش ۵۰)
- ۲- دستگاه شیکر
- ۳- تعداد ۵ الک در محدوده مش ۵۰ تا ۱۷۰ (از الک هایی که در آزمون دانه بندی به روش تر استفاده شدند بهره گیری شود).

۱- Shaker

۴- ظرف توزین به تعداد الک های انتخابی

۵- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

۶- پاکت کاغذی کوچک ۶ عدد (جهت ذخیره مانده ها)

شرح آزمایش: کلید ویژه لرزش دستگاه شیکر را روی صفر (ساکن) قرار دهید. الک ها به ترتیب الک با کوچکترین عدد مش در بالا و بزرگ ترین عدد مش در پایین و روی دستگاه شیکر قرار داده می شوند. نگاه دارنده الک ها با دقت بسته می شود (چون بی دقتی خطر سقوط الک و صدمه دیدن توری آن ها را به همراه دارد). ۴۰ گرم (دقت ۰/۱ گرم) ماده اولیه پودر شده ($4 < \text{میلیمتر}$) و در دمای $5 \pm 10.5^\circ \text{C}$ خشک شده در بالاترین (درشت ترین) الک ریخته می شود. با احتیاط شدت لرزش مناسب تنظیم می شود و در صورت موجود بودن تایمر (تنظیم کننده مدت ارتعاش) مدت ارتعاش مناسب (مثلاً ۱۰ دقیقه) تنظیم می شود.

توجه: چون الک ها با لرزش و گران قیمت می باشند، در حفظ آن ها بکوشید.

قبلاً باید ظروف ویژه توزین شسته و در خشک کن خشک شوند و پس از رسیدن به دمای محیط توزین و وزن آن ها در جدولی مشابه جدول ۴-۷ ثبت گردند. پس از اتمام زمان ارتعاش، مانده های روی الک ها در ظروف ویژه توزین تخلیه می شوند. پس از توزین ظروف توزین به همراه مانده ها و ثبت در جدول می توانند مانده ها در پاکت های ویژه ذخیره آن ها تخلیه گردند.

محاسبات: با کمک گرفتن از رابطه ۴-۴ د مانند دانه بندی به روش تر است. پس از انجام محاسبات نتایج را در جدول ۴-۷ وارد نمائید. در یک سیستم مختصات و به صورت دیاگرام بلوکی (مشابه شکل ۴-۵) توزیع دانه بندی را رسم نمائید. چون در این آزمون نوع ماده اولیه و انتخاب الک ها مشابه دانه بندی به روش تر است، پس باید نتایج دانه بندی به دو روش مشابه یکدیگر باشند. هر چه نتایج دو آزمون به یکدیگر نزدیکتر باشند، تأیید کننده دقت بیشتر به کار رفته در انجام آزمون است.

جدول ۴-۷- جدول پیشنهادی ثبت نتایج به روش خشک

۶	۵	۴	۳	۲	۱	n
<					>	مش
						وزن مانده و ظرف به g
						وزن ظرف به g
						مانده به g
						مانده R به %

۴-۲-۳-چگالی انباشتگی مانده‌های >۴ میلی‌متر

چگالی انباشتگی مواد اولیه برای محاسبه فضا جهت انبار کردن آن‌ها، تعیین و تخمین وزن بارگیری هنگام ترانسپورت، بارگیری بالمیل هنگام خشک ساب کردن و ... کاربرد دارد. هنگام تعیین مقدار گلوله بالمیل بر اساس حجم اشغالی بالمیل توسط گلوله نیز چگالی انباشتگی کمک می‌کند. هنگام عایق‌بندی سقف‌ها توسط مواد سبک (سرباره، پرلیت، پشم شیشه و ...) برای محاسبه وزن ماده سبک نیز از چگالی انباشتگی بهره گرفته می‌شود.

روش عملی

وسایل لازم:

۱- ماده اولیه به مقدار تقریبی ۲۰۰۰ گرم (مانده روی الک مش ۵) خشک شده در 5 ± 10.5 درجه سلسیوس.

۲- ترازو با دقت ۱ گرم

۳- کاسه با سینی فلزی ۱ عدد

۴- استوانه مدرج پلاستیکی ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ۱ عدد

شرح آزمایش: ابتدا استوانه مدرج با دقت ۱ گرم وزن می‌شود. داخل استوانه تا نشانه ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ماده اولیه افزوده می‌شود. دو مرتبه تقه ملایم به کمک دسته چکش به دیواره استوانه برای جابجایی احتمالی دانه‌ها زده می‌شود. در صورت جابجایی با افزودن مجدد ماده اولیه به آن کمبود جبران می‌شود. استوانه مدرج و ماده اولیه توزین می‌شود و نتایج توزین و توزین‌های قبل در جدولی مشابه جدول ۴-۸ ثبت می‌شود. چون وزن در حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر (یک لیتر) اندازه‌گیری شده است، پس واحد مربوطه g/l است که معادل kg/m^3 می‌باشد (در صورت استفاده از استوانه مدرج با حجم کمتر از یک لیتر باید با انتخاب فاکتور مناسب وزن ماده در یک لیتر محاسبه شود). از کم کردن وزن استوانه مدرج از وزن استوانه مدرج و ماده اولیه چگالی انباشتگی بر حسب g/l حاصل می‌شود.

جدول ۴-۸: جدول پیشنهادی ثبت نتایج دانه بندی انباشتگی

وزن استوانه مدرج و ماده اولیه به g	
وزن استوانه مدرج خالی به g	
چگالی انباشتگی g/l	

چون معمولاً وزن انباشته‌ها از ۱۰۰۰ کیلوگرم بیشتر است، مرسوم است که واحد چگالی انباشتگی را t/m^3 انتخاب کنند. در جدول ۴-۹ چگالی انباشتگی در مقایسه با وزن مخصوص چند ماده آورده شده است.

جدول ۴-۹: مقایسه چگالی انباشتگی و وزن مخصوص چند ماده [۵]

چگالی انباشتگی t/m^3	وزن مخصوص g/cm^3 یا t/m^3	اندازه	نام ماده
۱/۴۰ - ۱/۶۰	۲/۵ - ۲/۸	نرم	ماسه خشک
۱/۸۰ - ۲/۰	۲/۶	پودر نرم	بالکلی خشک
۱/۶۰ - ۲/۰	۲/۳ - ۲/۵	تخم مرغ	سنگ آهک
۰/۶۰ - ۱/۰	۲/۵ - ۳/۰	فندق	سرباره (پوکه صنعتی)

خودآزمایی

- ۱- چرا مانده روی الک ذرات بزرگتر از ۶۳ میکرون (مش ۲۳۰) بالکلی ها و کائولین ها در مقایسه با پودر سیلیس و فلدسپات به مراتب کمتر است؟
- ۲- چرا برای مشخص کردن توزیع دانه بندی کوچکتر از ۶۳ میکرون از روش آندریازن استفاده می شود؟
- ۳- تفاوت بین سنگ شکن و آسیاب در چیست؟ برای هر کدام یک مثال بزنید.
- ۴- مش (mesh) را تعریف کنید.
- ۵- تفاوت بین وزن مخصوص، چگالی انباشتگی و وزن لیتر را بیان کنید. واحدهایی که برای آنها به کار گرفته می شوند، کدامند؟
- ۶- در یک فضا با حجم ۱۰ متر مکعب چند تن ماده اولیه با چگالی انباشتگی $1/8t/m^3$ را می توان جای داد؟
- ۷- آیا در اندازه گیری % مانده روی الک ها در دانه بندی به روش تر یا خشک رطوبت در وزن ماده اولیه ورودی به درشتترین الک ها نقش دارد یا خیر؟

مراجع و منابع

- (۱) پروین، ح «شناسایی کانی‌ها در نمونه دستی» مرکز تولید دانشگاه آزاد، تهران ۱۳۵۸
- (۲) و گل، آ. (مترجم: عباس‌زاده توسلی، ف.) «شیمی تجزیه کمی معدنی» جلد اول مرکز نشر دانشگاهی، تهران ۱۳۶۵ (چاپ اول)
- (۳) استاندارد ایران ۲۲۸۹ «روش نمونه‌برداری از سنگ گچ - ژئوپس» مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران ۱۳۶۶ (چاپ دوم)
- (۴) Salmang, H, Scholze, H. "Die Keramik" physikalische und chemische Grundlagen Springer Verlag, Berlin 1968 (5. Auflage).
- (۵) Heuschkel, H. "ABC Keramik" VEB Deutscher Verlag fuer Grundstoffindustrie Leipzig 1975 (1. Auflage)
- (۶) "Wasserbindevermoegen, Plastizitaet, Wasserbedarf nach PFEFFERKORN" Deutsche Keramische Gesellschaft (DKG) – Richtlinie 1/5 (Juli 1981) Ceramic Forum international (cfi) / Berichte der DKG 4/5. Juli / August 1981, S.311.
- (۷) مهربان، س «بررسی روش‌های ساخت و تهیه مخروط‌های زگر معمولی» پروژه کارشناسی رشته سرامیک دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، تهران ۱۳۷۲
- (۸) Hinz, W. "Silikate" Band 2: Die Silikatsystemme und die technischen Silikate VEB Deutscher Verlag fuer Bauwesen, Berlin 1971 (1. Auflage).
- (۹) DIN 51033 Blatt 1 "Bestimmung der Korngroessen durch Siebung und Sedimentation" Verfahren nach Andreasen. Beuth – Vertrieb GmbH, Berlin 1962.
- (۱۰) "Korngroessenverteilung, Pipettenanalyses nach ANDREASEN" Deutsche Keramische Gesellschaft (DKG) – Richtlinie 1/3 (Juli 1981) Ceramic forum international (cfi) / Berichte der DKG 4/5. Juli / August 1981, S. 307
- (۱۱) Sienko, M.J.; Plane, R.A.; Marcus, S.T. "Experimental Chemistry" Mcgraw – Hill Publishing Company Limited, Singapore 1985 (6. Edition).

سایر منابع مورد استفاده در تدوین کتاب:

Kirsch, H. "Technische Mineralogie" Vogel – Verlag, Wuerzburg (Germany).

Lipinski, F. "Das keramische Laboratorium" Band 1 Willhelm Knapp Verlag, Duesseldorf

(Germany) 1955.

Schulze, W. "Einfuehrung in die Baustoffpruefung" VEB Deutscher Verlag fuer Bauwesen, Berlin ,1975 (4. Auflage).

Kirk-Othmer. "Encyclopedia of chemical technology" John Willey & Sons New York 2007

منشی، ا. «کانی شناسی» سال دوم هنرستان ۵۱۴/۳ وزارت آموزش و پرورش، تهران ۱۳۶۳

استاندارد ایران ۲۹۵ «اندازه های چشمه الک های آزمایشگاهی» مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران ۱۳۶۶

(چاپ سوم)

Typical chemistry laboratory

Equipment (11)

Plastic spatula	اسپاتول پلاستیکی
Cork	چوب پنبه
Rubber stopper	درپوش پلاستیکی
Rubber tube	لوله لاستیکی
Rubber connector	رابطه لاستیکی
Rubber policeman	لاستیک پلیسمن
Pinch clamp	پنس شیلنگ
File	سوهان
Funnel	قیف
Matches	کبریت
Filter paper	کاغذ صافی
Thistle tube	لوله گرز (مشابه گرز خار)
Measuring tube	پی پت
Thermometer and case	دماسنج با جعبه
Glass rod	میله (بهمنزن) شیشه‌ای
Capillary tube	لوله موئین
Watch glass	شیشه ساعت
Test tube	لوله آزمایش
Test – tube holder	گیره لوله آزمایش
Medicine dropper	قطره چکان
Plain cylinder	استوانه شیشه‌ای
Graduated cylinder	استوانه مدرج
Bottle	شیشه بدون در
Beaker	بشر
Test – tube brush	لوله آزمایش شور
Test – tube rack	جای لوله آزمایش

U tube	لوله U شکل
Clamp	گیره بورت
Ring	جا قیفی
Ring stand	پایه بورت
Wire gauze	توری آزبست (آسبست)
Glass plate	صفحه شیشه‌ای
Pneumatic trough	تشتک پنوماتیکی (بادی)
Bunsen burner	چراغ بونزن
Flame spreader	شعله پخش کن
Wire triangle	تری آنگل
Crucible tongs	انبر کروزه (بوته)
Crucible and cover	کروزه (بوته) و در
Transite Mat	ترانزیت مت
Mortar and pestle	هاون و دسته
Evaporating dish	جام چینی
Wooden splint	میله چوبی
Desk cloth	رومیزی
Cheesecloth	ململ
Levelling bulb	لامپ (حباب) تراز کردن
Erlenmeyer flask	بالن ارلن
Florence flask	بالن ته صاف

آلمان DIN 4188		آریتیکا ASTM - E - 11 - 61				ISO - K 565	انگلیس BS 410:1962		
w	d	w	meshNr.	d	Tyler	w	w	Mesh	d
-	-	+/+27	200	+/+25	200	-	-	-	-
+/+2	+/+10	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	+/+22	270	+/+22	270	-	-	-	-
+/+10	+/+18	-	-	-	-	+/+20	+/+20	250	+/+28
+/+5	+/+22	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	+/+27	270	+/+27	270	-	+/+27	300	+/+32
+/+20	+/+22	-	-	-	-	-	-	-	-
+/+22	+/+2	+/+22	220	+/+22	250	+/+22	+/+22	220	+/+22
+/+10	+/+20	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	+/+22	220	+/+22	200	-	-	-	-
+/+8	+/+5	-	-	-	-	-	+/+20	200	+/+20
-	-	+/+22	220	+/+22	200	-	-	-	-
+/+2	+/+20	-	-	-	-	-	-	-	-
+/+1	+/+22	-	-	-	-	+/+2	+/+2	170	+/+20
-	-	+/+20	220	+/+20	150	-	+/+10	150	+/+22
+/+25	+/+8	+/+120	120	+/+40	110	+/+20	+/+120	120	+/+27
-	-	+/+22	220	+/+22	200	-	-	-	-
+/+2	+/+1	-	-	-	-	-	+/+10	100	+/+10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	+/+22	220	+/+22	200	-	-	-	-
+/+2	+/+20	-	-	-	-	+/+2	+/+2	20	+/+22
-	-	+/+21	20	+/+102	20	-	+/+21	22	+/+22
+/+20	+/+2	+/+20	20	+/+18	20	+/+20	+/+20	20	+/+22
-	-	+/+22	20	+/+22	28	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	+/+2	22	+/+22
+/+20	+/+2	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	+/+20	20	+/+22	22	-	-	-	-
+/+2	+/+20	-	-	-	-	+/+20	+/+20	22	+/+22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

w = اندازه چشمه الک به میلیتر d = قطر سیم الک به میلیتر

Mesh = مش (تعداد چشمه موجود در یک اینچ طولی - ۲/۵ سانتیمتر - را مش گویند)

ASTM = American Society for Testing Materials

BS = British Standard

DIN = Deutsches Institut fuer Normung

ISO = International Standards Organization

آلمان DIN 4188		آسترا ASTM-E-11-61				ISO- R 565	بریتانیا BS 410:1962		
w	d	w	Mesh No.	d	Tyler	w	w	Mesh	d
\	\	1/220	20	1/19	25	\	1/221	22	1/218
1/5	1/215	1/5	25	1/22	22	1/5	1/5	20	1/227
\	\	1/200	30	1/21	28	\	\	\	\
-	-	-	-	-	-	-	1/8	20	1/221
1/200	1/22	\	\	\	\	\	\	\	\
\	\	1/200	20	1/25	22	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	1/41	1/41	22	1/225
1/8	1/5	\	\	\	\	\	\	\	\
-	-	1/211	20	1/21	20	-	-	-	-
\	\	\	\	\	\	\	1/25	18	1/221
1/2	1/22	1/2	18	1/28	18	1/2	1/2	18	1/228
\	\	1/19	18	1/25	17	\	\	\	\
-	-	-	-	-	-	-	1/2	17	1/217
1/25	1/8	\	\	\	\	\	\	\	\
-	-	-	-	-	-	1/2	1/2	17	1/217
\	\	1/21	17	1/25	17	\	\	\	\
1/8	1/2	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	1/28	15	1/31	15	-	1/28	15	1/28
2/1	1/2	2/1	15	1/2	8	2/1	2/1	8	1/288
-	-	2/28	8	1/2	8	-	-	-	-
\	\	\	\	\	\	\	2/2	7	1/288
2/5	1/2	-	-	-	-	-	-	-	-
\	\	\	\	\	\	2/4	2/4	6	1/222
-	-	2/22	7	1/2	-	-	-	-	-
2/15	1/20	\	\	\	6	\	\	\	\
-	-	-	-	-	-	-	2/25	5	1/22
\	\	2/22	6	1/22	6	\	\	\	\
2/1	1/8	2/1	5	1/22	5	2/1	2/1	5	1/22
-	-	2/22	5	1/22	5	-	-	-	-
2/1	2/1	\	\	\	\	\	\	\	\
\	\	2/22	4/5	1/28	2/5	2/2	\	\	\
2/2	2/5	-	-	-	-	2/2	-	-	-

w = اندازه چشمه الک به میلیتر d = قطر میم الک به میلیتر

Mesh = (تعداد چشمه موجود در یک اینچ طولی - ۲/۵ سانتیمتر - را من گویند)

ASTM = American Society for Testing Materials

BS = British Standard

DIN = Deutsches Institut fuer Normung

ISO = International Standards Organization

آلمان DIN 4188		آمریکا ASTM - E - 11 - 61				ISO - R 565	انگلیس BS 410/1962		
w	d	w	Mesh Nr.	d	Tyler	w	w	Mesh	d
\	\	۴/۳۵	۱۰۰	۱/۸۷	\	\	\	\	\
-	-	۴/۷۳	-/۱۳۵	۱/۸۷	۳	-	-	-	-
۸/۲۰	۳/۱۵	۸/۲۰	۵۰	۲/۷۹	۲/۵	۸/۲۰	\	\	\
-	-	۹/۵۱	۳۰	۱/۲۷	-/۳۷۱	-	-	-	-
۱۷/۰	۴/۰	\	\	\	\	۱۷/۰	\	\	\
-	-	۱۱/۲	۷/۱۶	۱/۳۵	-/۴۹۱	۱۱/۲	-	-	-
۱۲/۵	۴/۰	\	\	\	\	۱۲/۵	\	\	\
-	-	۱۲/۷	۱۰۰	۱/۲۷	-	-	-	-	-
\	\	۱۳/۵	-/۵۳	۲/۷۵	-/۵۱۵	\	\	\	\
۱۶/۰	۴/۰	۱۶/۰	۵۰	۳/۰	-/۶۲۱	۱۶/۰	-	-	-
۱۸/۰	۴/۵	\	\	\	\	\	\	\	\
-	-	۱۹/۰	۳۰	۲/۲	-/۷۲۱	-	-	-	-
\	\	۲۲/۹	۷۰	۳/۵	-/۸۲۱	۲۲/۹	\	\	\
۲۷/۰	۵/۰	-	-	-	-	۲۷/۰	-	-	-
۳۵/۰	۵/۰	\	\	\	\	۳۵/۰	\	\	\
-	-	۴۵/۴	۱۰۰	۳/۸	-	-	-	-	-
\	\	۴۶/۹	۱۰۰	۳/۸	۱۰۰	\	\	\	\
-	-	۴۵/۳	۳/۷۵	۴/۸۵	-	۴۵/۰	-	-	-
\	\	۴۲/۰	۱/۲۵	۴/۳۲	\	۴۱/۵	\	\	\
-	-	۵۰/۸	۲۰	۵/۰	-	۵۰/۰	-	-	-
\	\	۳۸/۱	۱/۵	۴/۵۳	\	۳۸/۰	\	\	\
-	-	۵۳/۸	۲/۱۲	۵/۱۵	-	-	-	-	-
\	\	۴۲/۰	۲/۵	۵/۵	\	\	\	\	\
\	\	۷۶/۱	۳/۰	۵/۸	\	\	\	\	\
-	-	-	-	-	-	۸۸/۰	-	-	-
\	\	۹۰/۵	۳/۵	۶/۸	\	۹۰/۰	\	\	\
-	-	۱۰۶/۶	۴/۰	۶/۳	-	۱۰۰	-	-	-
\	\	۱۱۷/۶	۲/۲۲	۶/۴	\	\	\	\	\
-	-	-	-	-	-	۱۱۵	-	-	-

w = اندازه چشمه الک به میلیتر d = قطر سیم الک به میلیتر

Mesh = مش (تعداد چشمه موجود در یک اینچ طولی - ۲/۵ سانتیمتر - را مش گویند)

ASTM = American Society for Testing Materials

BS = British Standard DIN = Deutsches Institut fuer Normung

ISO = International Standards Organization

تذکر:

۱ - اعدادی از قبیل ۳: ۴ in در جدول به معنی $\frac{۳}{۴}$ اینچ می باشد.

۲ - منبع تدوین شماره استاندارد ایران ۲۹۵ * اندازه های چشمه الکهای آزمایشگاهی * ISO - R 565 می باشد.

