

و هو العليم

راهنمای فنی دستگاه اندازه گیری اتوماتیک تخلخل با گاز هلیوم

## Helium Porosimeter

خردادماه ۱۳۹۳



تهیه شده توسط:

شرکت انرژی توانا کیش

گروه مهندسی پترولب تجهیز

ایران، البرز، کرج، خ مصباح، پردیس کشاورزی،

پارک علم و فناوری دانشگاه تهران

صندوق پستی ۴۱۱۱

تلفن: +۹۸ ۲۶ ۳۲۸۲۴۸۰۲

فاکس: +۹۸ ۲۶ ۳۲۸۲۴۸۰۷

## فهرست عناوین

۳	معرفی گروه مهندسی پترولب تجهیز
۴	مقدمه
۴	مشخصات دستگاه اندازه گیری اتوماتیک تخلخل در شرایط محیط
۷	تجهیزات دستگاه AUTOMATIC HELIUM POROSIMETER
۷	۱ مجموعه نمونه نگهدار پلاگ
۸	۲ مجموعه نمونه نگهدار تمام مغزه
۹	۳ سل مخصوص گاز هلیوم
۹	۴ کامپیوتر، نرم افزار و سیستم اتوماسیون دستگاه
۱۲	۵ فشارسنج دیجیتالی
۱۲	۶ دیسک ها و سیلندرهاي مخصوص کالیبراسیون دستگاه
۱۵	۷ مجموعه لاین کشی دستگاه
۱۵	۸ شیرهای پنوماتیک دستگاه
۱۶	نصب و راه اندازی دستگاه
۱۷	چگونگی کالیبراسیون دستگاه
۱۹	چگونگی محاسبات و اندازه گیری تخلخل
۲۲	نکات ایمنی و نحوه نگهداری دستگاه
۲۳	گارانتی و خدمات پس از فروش

### معرفی گروه مهندسی پترولب تجهیز

گروه مهندسی پترولب تجهیز از سال ۱۳۸۹ فعالیت خود را در زمینه طراحی، ساخت، خرید، تامین قطعات و پشتیبانی دستگاه های آزمایشگاهی مهندسی نفت آغاز نموده است. این گروه افتخار دارد تا با بهره گیری از متخصصین کارآمد و با تجربه، طیف گسترده ای از خدمات و تجهیزات آزمایشگاهی در حد استانداردهای بین المللی در عرصه مهندسی نفت را تقدیم مراکز تحقیقاتی و شرکت های فعال در این حوزه نماید. این گروه تلاش دارد تا با بهره گیری از آخرین فناوری های نوین دنیا، خدمات با برترین کیفیت را ارائه نموده و با ایجاد و یا انتقال و بومی سازی فناوری های مورد نیاز بازار، گامی سازنده در پیشرفت صنایع بالادستی نفت کشور بردارد.

## مقدمه

کاتالوگ حاضر حاوی مشخصات فنی، راهنمای نصب و راه اندازی، مراحل کالیبراسیون، نحوه انجام آزمایشات و نکات ایمنی حین کار با دستگاه (Automatic Helium Porosimeter) می باشد. به همراه این کاتالوگ مشخصات تجهیزات نصب شده در سیستم ارائه شده است. این دستگاه توسط گروه مهندسی پترولب تجهیز اختراع، طراحی و ساخته شده است و تمامی حقوق آن متعلق به این گروه می باشد.

**توجه:** ارجاع به این کاتالوگ با ذکر منبع بلامانع است. این دستگاه در صورت نیاز به هر گونه تعمیرات سخت افزاری- نرم افزاری، در طول دوره گارانتی منحصراً" توسط نماینده شرکت انرژی توانا انجام می گردد، و پس از آن نیز از خدمات انحصاری پس از فروش برخوردار است. در صورت هرگونه تغییرات در دستگاه و یا تعمیر توسط اشخاصی غیر از نماینده شرکت انرژی توانا، گارانتی دستگاه ابطال می گردد. هرگونه کپی برداری از اجزای دستگاه توسط اشخاص حقیقی و یا حقوقی ممنوع می باشد.

## مشخصات دستگاه اندازه گیری اتوماتیک تخلخل در شرایط محیط

این دستگاه برای اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه سنگ مخزن (پلاگ، تمام مغزه و سست) به صورت اتوماتیک در شرایط محیط، بر اساس انبساط گاز هلیوم و قانون بویل و کالیبراسیون دیسک های با حجم معین ساخته شده است:

قطر نمونه پلاگ مغزه: ۱ و ۱/۵ اینچ

حداکثر طول نمونه پلاگ مغزه: ۳ اینچ

قطر نمونه تمام مغزه: ۲/۵ تا ۴ اینچ

حداکثر طول نمونه تمام مغزه: ۸ اینچ

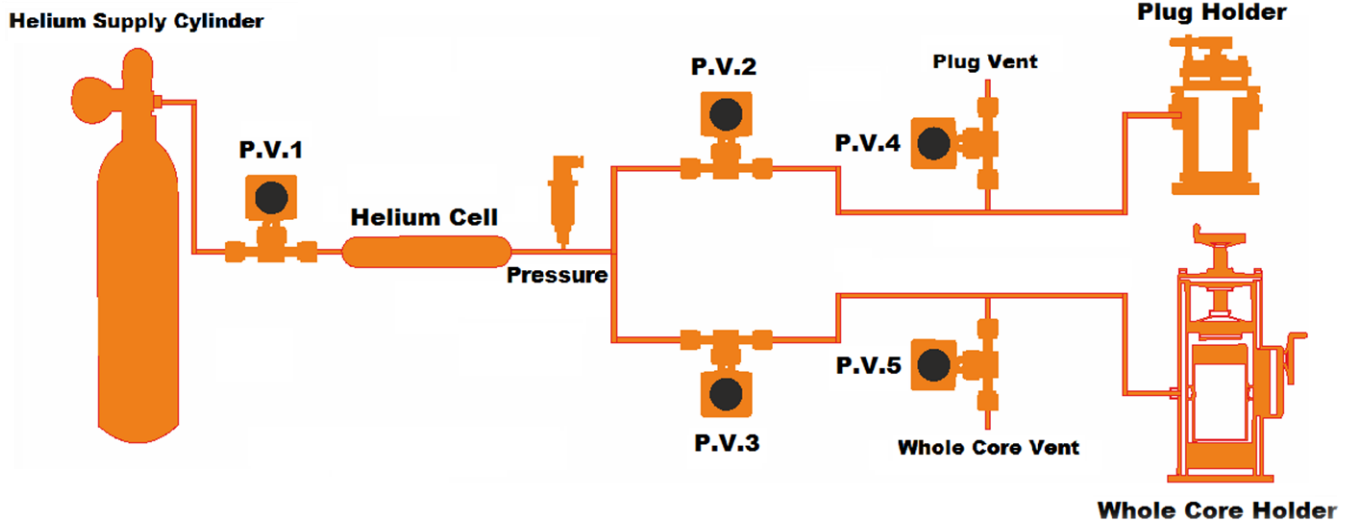
حداکثر فشار کالیبراسیون و اندازه گیری: ۵۰۰ پام

حداقل فشار تامین گاز هلیوم: ۵۰۰ پام

حداقل فشار هوای خشک برای باز و بسته شدن شیرهای پنوماتیک و برقی: ۶۰ پام

حداکثر فشار هوای خشک برای باز و بسته شدن شیرهای پنوماتیک و برقی: ۹۵ پام

ولتاژ برق مصرفی: ۲۲۰ ولت، تک فاز



شکل شماره ۱: شمای کلی دستگاه اندازه گیری اتوماتیک تخلخل. شیر P.V.1 شیر پنوماتیک اصلی ورود گاز هلیوم به سیستم، شیرهای P.V.2 و P.V.3 به ترتیب شیرهای ورود هلیوم به نمونه نگهدار پلاگ و تمام مغزه، و شیرهای P.V.4 و P.V.5 به ترتیب شیرهای تخلیه هلیوم از نمونه نگهدار پلاگ و تمام مغزه می باشند.

در این دستگاه با استفاده از کالیبراسیون دیسک‌های مخصوص با حجم معین، به صورت مجزا برای پلاگ و تمام مغزه در محفظه های نگهدارنده مغزه، حجم ماتریس نمونه‌ها اندازه گیری می‌شود. با داشتن حجم ماتریس سنگ، وزن خشک نمونه و حجم کلی نمونه که از اندازه گیری طول و قطر نمونه‌ها بدست آمده، حجم فضای خالی و سپس تخلخل و دانسیته سنگ بدست می‌آید.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1 Z_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2 Z_2}$$

$P_1$  = فشار اولیه گاز هلیوم در سل مخصوص

$P_2$  = فشار ثانویه گاز هلیوم پس از ارتباط سل مخصوص با محفظه نگهدارنده مغزه

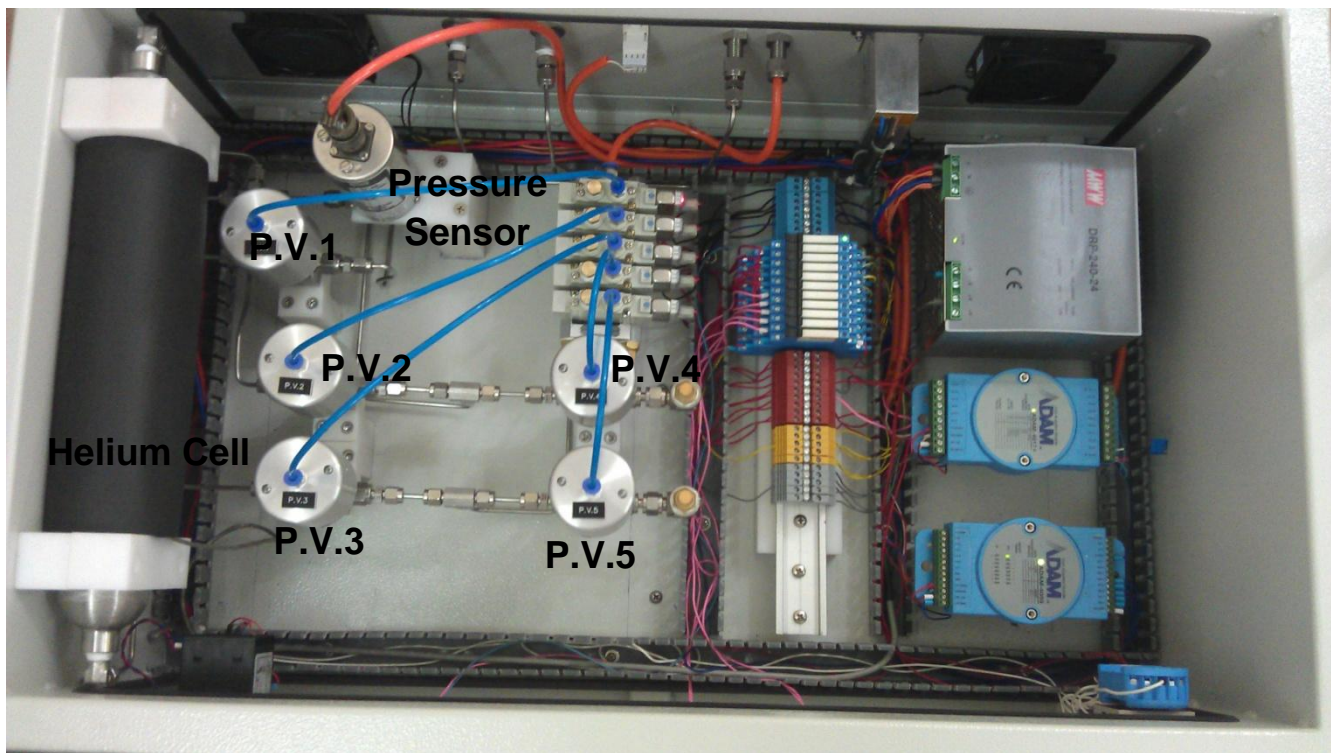
$V_1$  = حجم سل مخصوص و مسیر قبل از باز شدن شیر ارتباط سل با محفظه نگهدارنده مغزه

$V_2$  = حجم فضای خالی کل سیستم پس از ارتباط سل با محفظه نگهدارنده حاوی مغزه

$Z_1$  = ضریب تراکم پذیری گاز هلیوم در فشار  $P_1$

$Z_2$  = ضریب تراکم پذیری گاز هلیوم در فشار  $P_2$

شمای کلی دستگاه در شکل شماره ۱ آمده است که ارتباط بین شیرهای پنوماتیک، نگهدارنده های نمونه های پلاگ و تمام مغزه، سل گاز هلیوم و دیگر اجزای سیستم را نشان می دهد. نمای داخلی و خارجی دستگاه نیز در شکل های شماره ۲ و ۳ آمده است. دستگیره های بالای درب دستگاه فقط برای برداشتن درب دستگاه می باشد.



شکل شماره ۲: نمای داخلی دستگاه اندازه گیری اتوماتیک تخلخل که شیرهای پنوماتیک، سل گاز هلیوم، سنسور فشار و قطعات الکترونیکی را نشان می دهد.



شکل شماره ۳: نمای کلی دستگاه اندازه گیری اتوماتیک تخلخل.

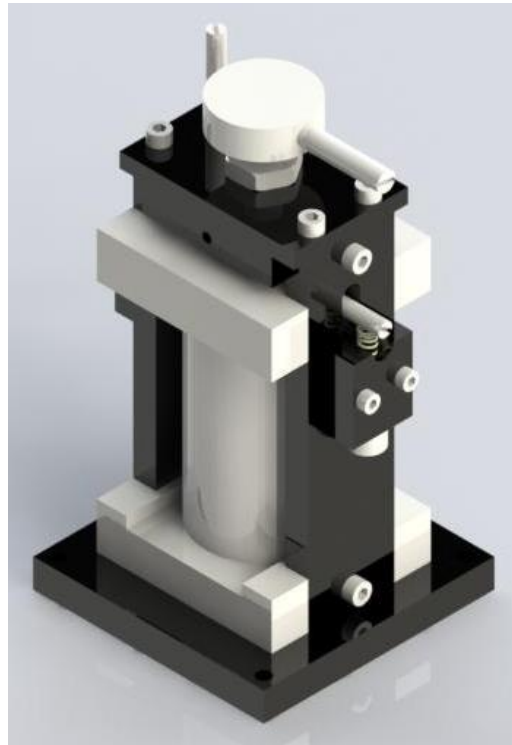
با توجه به اینکه در این سیستم کالیبراسیون انجام می گردد، دما ثابت در نظر گرفته می شود و از تغییرات ناچیز ضریب تراکم پذیری گاز هلیوم در فشارهای مختلف صرف نظر می شود. از مزایای این دستگاه قابلیت کالیبراسیون و اندازه گیری تخلخل و دانسیته در فشارهای مختلف و تا حداکثر ۵۰۰ پام می باشد. افزایش فشار اولیه گاز هلیوم در اندازه گیری تخلخل، دقت اندازه گیری را در نمونه های سنگ با تخلخل و تراوایی کم بالا می برد. تغییرات دمایی بیشتر از  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  بر دقت اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه سنگ تاثیر بسزائی دارد.

## تجهیزات دستگاه Automatic Helium Porosimeter

### ۱- مجموعه نمونه نگهدار پلاگ

از این مجموعه برای اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه های سنگ با قطر ۱ تا ۱/۵ اینچ و تا طول ۳ اینچ استفاده می شود که شامل محفظه نمونه نگهدار، اجزای پایه و ترمز و درپوش محفظه می باشد که برگرفته از طراحی شرکت CoreLab آمریکا با ایجاد برخی تغییرات برای بهبود کارایی می باشد. در این طراحی، اپراتور به راحتی و با سرعت

می تواند نمونه ها را جاگذاری و بردارد. حجم داخل محفظه تقریباً "۹۲ سی سی و از جنس SS316 پوشیده شده با آب کروم می باشد (شکل شماره ۴).



شکل شماره ۴: نمونه نگهدار پلاگ مغزه و متعلقات آن

## ۲- مجموعه نمونه نگهدار تمام مغزه

از این مجموعه برای اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه های سنگ تمام مغزه با قطر ۲/۵ تا ۴ اینچ تا طول ۸ اینچ استفاده می شود که شامل محفظه نمونه نگهدار، اجزای پایه، درپوش محفظه مجهز به بالابرنده و چرخ دنده ها برای چرخش آسان محفظه می باشد. در این نمونه نگهدار که توسط متخصصین گروه مهندسی پترولیم تجهیز طراحی و ساخته شده است، اپراتور به راحتی نمونه ها را داخل محفظه بارگذاری و باربرداری می کند. حجم محفظه حدود ۱۹۰۰ سی سی و از جنس SS316 پوشیده شده با آب کروم سخت می باشد (شکل شماره ۵).





شکل شماره ۵: نمونه نگهدار تمام مغزه و متعلقات آن

### ۳- سل مخصوص گاز هلیوم

برای تامین گاز هلیوم جهت کالیبراسیون و سپس اندازه گیری حجم ماتریس نمونه با نفوذ به درون خلل و فرج سنگ با فشار مناسب، از سل با حجم ۵۰۰ CC و از جنس SS316L ساخت شرکت *Swagelok* استفاده گردیده است. این سل قابلیت تحمل فشار تا ۱۸۰۰ پام دارد (شکل شماره ۲).

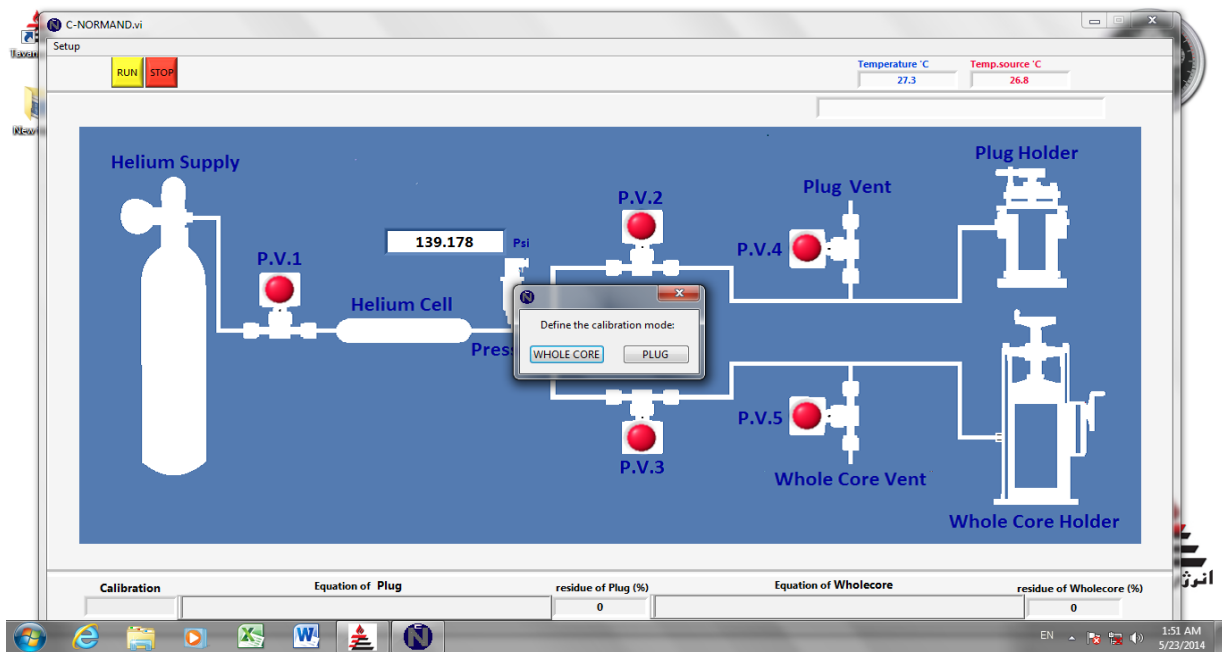
### ۴- کامپیوتر، نرم افزار و سیستم اتوماسیون دستگاه

صفحه اصلی برنامه (شکل شماره ۶) با فشردن آیکن Tavana-Auto-Helium Poro باز می‌شود که در آن کلیدهای اندازه گیری خودکار، اندازه گیری دستی و کالیبراسیون وجود دارند و در واقع برنامه C-NORMAND (شکل ۷) برای کالیبراسیون نمونه های سنگ (پلاگ و تمام مغزه)، برنامه NORMAND (شکل ۸) برای اندازه گیری تخلخل و

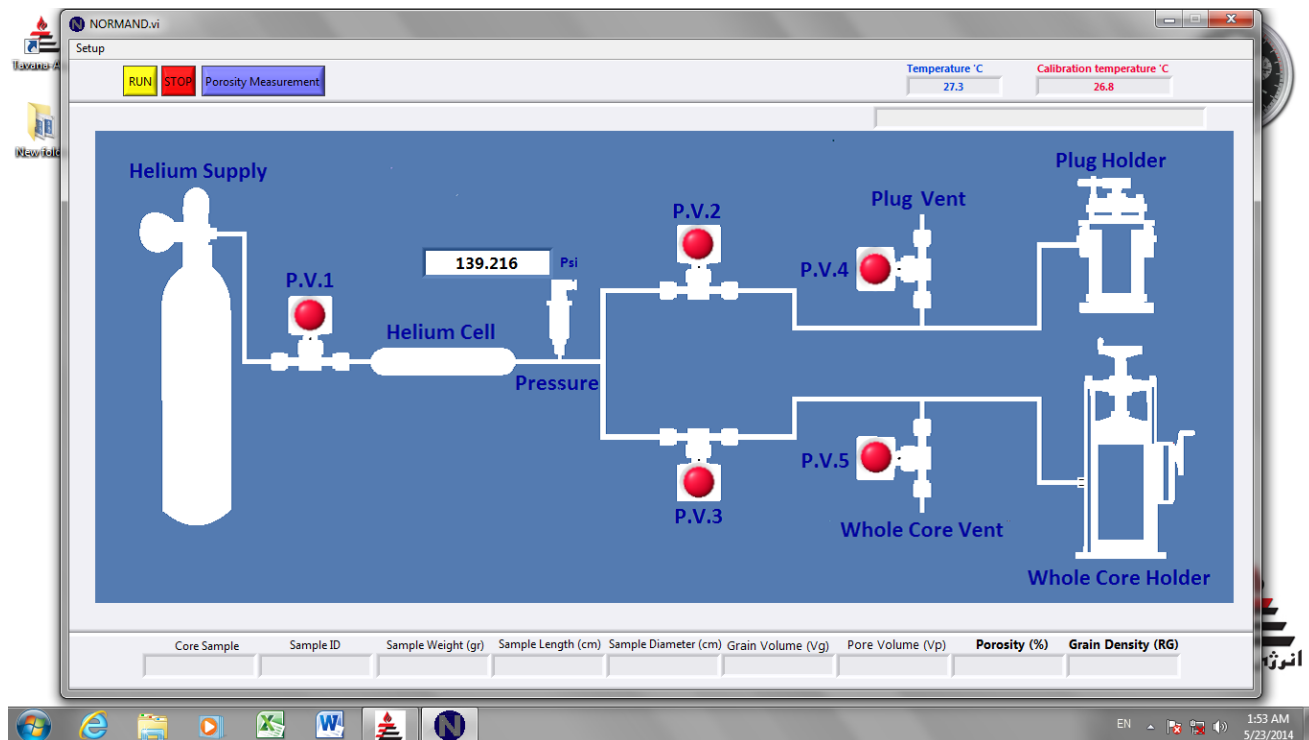
دانسیتته نمونه های سنگ (پلاگ و تمام مغزه) و برنامه MANUAL CONTROL NORMAND (شکل ۹) برای کنترل دستی سیستم را که با استفاده از نرم افزار LabView کدنویسی شده است اجرا می نماید. در صورت نیاز به نصب مجدد برنامه ها و هرگونه تغییرات پیشنهادی در آن، حضور کارشناس گروه مهندسی پترولب تجهیز الزامی است.



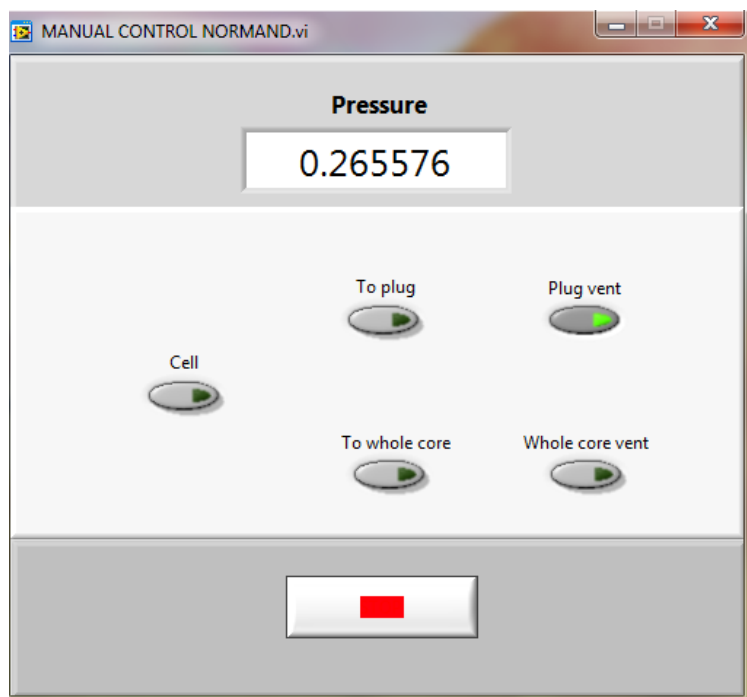
شکل شماره ۶: پنجره اصلی برنامه که با فشردن آیکن Tavana-Auto-Helium Poro باز می شود.



شکل شماره ۷: پنجره کالیبراسیون نمونه های پلاگ و تمام مغزه و نمایش معادله رگرسیون داده های فشارنسبی- حجم و مجموع باقیمانده اختلاف حجم واقعی و رگرسیون به درصد.



شکل شماره ۸: پنجره اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه های پلاگ و تمام مغزه با نمایش داده های نمونه مغزه در پایین پنجره.



شکل شماره ۹: پنجره کنترل دستی دستگاه. شیرها با یک بار کلیک باز و با کلیک بعدی بر روی آن بسته می شود.

## ۵- فشار سنج دیجیتالی

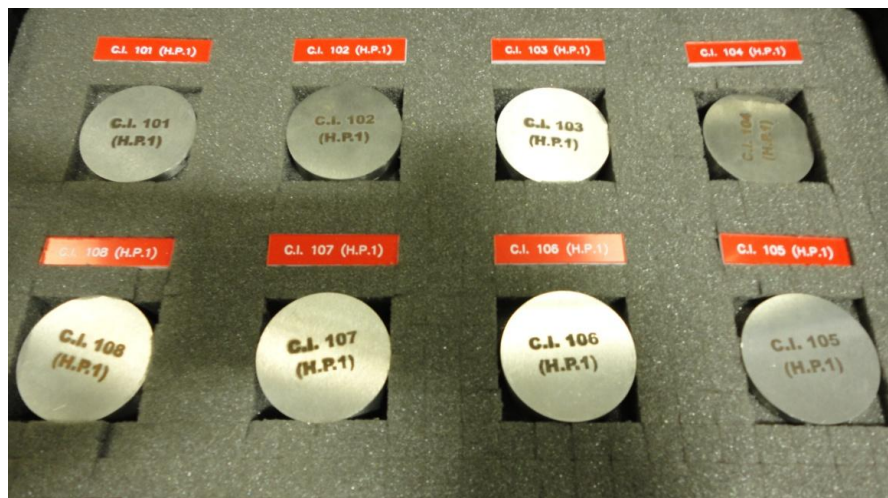
فشارسنج مورد استفاده در دستگاه ساخت شرکت **Dresser** آمریکا، از جنس SS316L و با محدوده ۰ تا Psig ۵۰۰ با دقت بهتر از ۰/۰۵ %FS می باشد. این سنسور دقت و پایداری بسیار ماندگاری در طول زمان دارد.

## ۶- دیسک ها و سیلندرهای مخصوص کالیبراسیون دستگاه

دیسک های کالیبراسیون پلاگ مغزه: دو سری دیسک های کالیبراسیون از جنس SS304 برای نمونه های پلاگ مغزه در جعبه مخصوص به همراه دستگاه تحویل شده است که مشخصات آن ها در جداول شماره ۱ و ۲ آمده است. این دیسک ها با دقت در حد میکرون توسط دستگاه CNC تراشیده شده است. می توان دستگاه را با سری دوم دیسک ها نیز کالیبره کرد، ولی قبل از آن باید مشخصات این دیسک ها توسط کارشناس گروه مهندسی پترولب تجهیز در نرم افزار سیستم وارد شود. برای محاسبه حجم، طول و قطر آن ها با کولیس دیجیتالی به دقت اندازه گیری شده است (شکل شماره ۱۰).

جدول شماره ۱: مشخصات دیسک های سری اول برای کالیبراسیون نمونه های پلاگ

شماره سریال دیسک	قطر دیسک (mm)	طول دیسک (mm)	حجم دیسک (CC)
C.I. 101 (H.P.2)	۳۸/۰۸	۴/۰۱	۴/۵۶۷
C.I. 102 (H.P.2)	۳۸/۱۰	۱۰/۰۱	۱۱/۴۱۲
C.I. 103 (H.P.2)	۳۸/۰۳	۲۰/۰۰	۲۲/۷۱۸
C.I. 104 (H.P.2)	۳۸/۰۲	۴۰/۰۰	۴۵/۴۱۲



شکل شماره ۱۰: دیسک های کالیبراسیون پلاگ مغزه که درون جعبه مخصوص نگهداری می شوند.

جدول شماره ۲: مشخصات دیسک های سری دوم برای کالیبراسیون نمونه های پلاگ

شماره سریال دیسک	قطر دیسک (mm)	طول دیسک (mm)	حجم دیسک (CC)
C.I. 105 (H.P.2)	۳۸/۰۳	۴/۰۲	۴/۵۶۶
C.I. 106 (H.P.2)	۳۸/۰۲	۱۰/۰۱	۱۱/۳۶۴
C.I. 107 (H.P.2)	۳۸/۰۱	۲۰/۰۰	۲۲/۶۹۴
C.I. 108 (H.P.2)	۳۷/۹۰	۴۰/۰۰	۴۵/۱۲۶

دیسک ها و سیلندرهای کالیبراسیون تمام مغزه: یک سری دیسک و سیلندر شامل ۹ عدد دیسک و ۷ عدد سیلندر از جنس SS304 برای کالیبراسیون نمونه های تمام مغزه درون جعبه مخصوص به همراه دستگاه تحویل شده است که مشخصات آن ها در جدول شماره ۳ و ۴ آمده است. برای محاسبه حجم، طول و قطر آن ها با کولیس دیجیتالی به دقت اندازه گیری شده است.

جدول شماره ۳: مشخصات دیسک ها برای کالیبراسیون نمونه های تمام مغزه			
شماره سریال دیسک	قطر دیسک (mm)	طول دیسک (mm)	حجم دیسک (CC)
C.I. 201 (H.P.2)	۱۰۰/۰۰	۲۵/۰۰	۱۹۶/۳۵۰
C.I. 202 (H.P.2)	۱۰۰/۰۰	۲۵/۰۰	۱۹۶/۳۵۰
C.I. 204 (H.P.2)	۶۹/۰۵	۳۰/۰۰	۱۱۲/۳۴۱
C.I. 206 (H.P.2)	۶۹/۰۰	۱۹/۷۰	۷۳/۶۶۴
C.I. 208 (H.P.2)	۶۹/۰۰	۱۹/۷۰	۷۳/۶۶۴
C.I. 210 (H.P.2)	۶۹/۰۰	۱۹/۷۰	۷۳/۶۶۴
C.I. 212 (H.P.2)	۶۹/۰۰	۱۹/۷۰	۷۳/۶۶۴
C.I. 214 (H.P.2)	۶۹/۰۰	۱۹/۷۰	۷۳/۶۶۴
C.I. 216 (H.P.2)	۶۹/۰۰	۱۹/۵۰	۷۲/۹۱۶

جدول شماره ۴: مشخصات سیلندرها برای کالیبراسیون نمونه های تمام مغزه				
شماره سریال سیلندر	قطر خارجی سیلندر (mm)	قطر داخلی سیلندر (mm)	طول سیلندر (mm)	حجم سیلندر (CC)
C.I. 203 (H.P.2)	۹۹/۴۳	۶۹/۸۵	۲۵/۰۰	۹۸/۳۱۸
C.I. 205 (H.P.2)	۹۹/۷۱	۷۰/۰۰	۲۰/۰۰	۷۹/۲۰۱
C.I. 207 (H.P.2)	۹۹/۷۵	۶۹/۹۷	۲۰/۰۰	۷۹/۳۹۲
C.I. 209 (H.P.2)	۹۹/۷۴	۶۹/۹۰	۲۰/۰۰	۷۹/۵۱۵
C.I. 211 (H.P.2)	۹۹/۰۰	۶۹/۸۵	۲۰/۰۰	۷۹/۲۴۹
C.I. 213 (H.P.2)	۹۹/۷۳	۶۹/۹۴	۲۰/۰۰	۷۹/۳۹۵
C.I. 215 (H.P.2)	۹۹/۵۰	۶۹/۹۰	۲۴/۷۷	۹۷/۵۴۹

برای دقت در اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه های ۲/۶ اینچ و کاهش مصرف گاز هلیوم، بهتر است از سیلندرهایی کالیبراسیون در درون محفظه نمونه نگهدار استفاده کرد. یک عدد سیلندر آلومینیومی با حجم ۸۵۱/۹۲۹ سی سی برای این امر به همراه دستگاه می باشد که در نرم افزار قابل انتخاب می باشد. همچنین با توجه به اینکه طول محفظه نمونه تمام مغزه حدود ۸ اینچ می باشد، می توان برای اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه های تمام مغزه معمولی با طول کمتر از آن، از دیسک های شماره 204, 206, 208 به همراه آن استفاده کرد. بدین ترتیب

حجم گاز هلیوم مصرفی کاهش یافته و با توجه به کاهش کمتر فشار گاز مخزن هلیوم، دقت اندازه گیری به خصوص در نمونه های با تخلخل و تراوایی پایین افزایش می یابد.

#### ۷- مجموعه لاین کشی دستگاه

از لاین های SS316 سوئدی با تحمل فشار ۶۵۰۰ پام و اتصالات ساخت شرکت VEE-LOK در دستگاه استفاده شده است. از شیلنگ های فشار قوی با تحمل ۲۵ بار ساخت آلمان نیز برای بخش پنوماتیک و باز و بسته کردن شیرهای پنوماتیک استفاده گردیده است.

#### ۸- شیرهای پنوماتیک دستگاه

دستگاه Automatic Helium Porosimeter مجهز به ۵ عدد شیر پنوماتیک ساخت شرکت *Swagelok* آمریکا با حداکثر فشار کاری ۳۵۰۰ پام در شرایط محیط می باشد. این شیرها مدل SS-HBS4-C و از جنس SS316L بوده و در حالت عادی بسته (Normally Close) می باشند (شکل شماره ۲). فشار هوا برای باز کردن شیرها باید حدود ۷۵ پام بوده که با استفاده از پانل ریگلاتور و فشارسنج عقربه ای باید تنظیم و تامین شود. فشار بیش از ۹۵ پام باعث خرابی شیرهای برقی و فشار کمتر از ۶۰ پام باعث عدم کارکرد مناسب شیرهای پنوماتیک می شود. کاتالوگ شیرهای پنوماتیک به راهنمای دستگاه ضمیمه شده است. الزامی است با نصب ریگلاتور با دقت مناسب، هوا با فشار مورد نیاز حدود ۷۵ پام از طریق کپسول هوا و یا کمپرسور برای دستگاه تامین گردد.

شیرهای تخلیه مجهز به اگزاست برای کاهش صدای گاز در حین تخلیه می باشند. از مزایای شیرهای پنوماتیک *Swagelok* آمریکا عمر مفید و دوام طولانی مدت در باز و بسته شدن های بسیار زیاد، عدم نشتی گاز هلیوم و عدم افزایش دمای سیستم به دلیل جریان الکتریسیته می باشد. اندازه گیری تخلخل نمونه هایی که در سیستم ایجاد گرد و غبار می نمایند باعث آسیب رسانی جدی به شیرهای پنوماتیک و سپس نشتی و عدم دقت در اندازه گیری های بعدی می شود. در صورت لزوم می یابست از فیلتر هوای مناسب در مسیر ورودی گاز هلیوم به نمونه استفاده شود. بدیهی است که دستگاه باید با این مجموعه اضافه شده کالیبره گردد.

## نصب و راه اندازی دستگاه

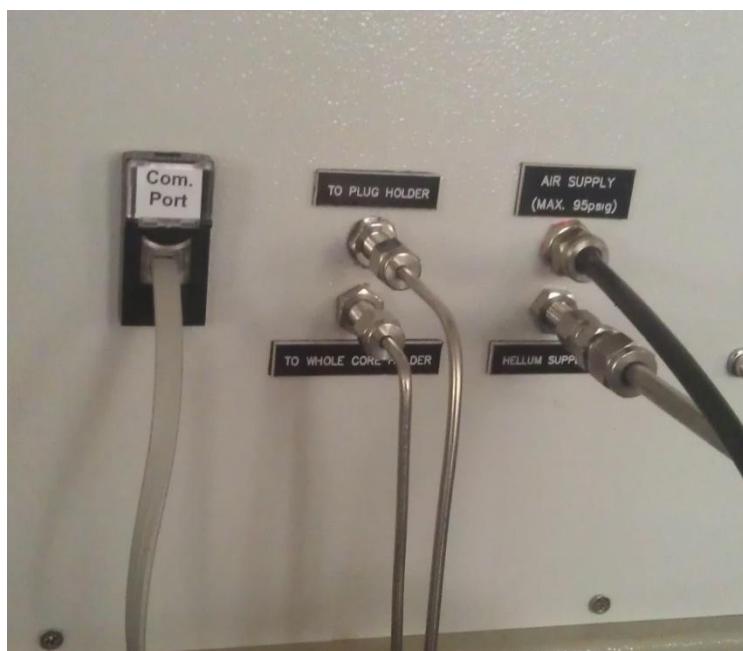
دستگاه Automatic Helium Porosimeter توسط پرسنل مجرب گروه مهندسی پترولب تجهیز در محل مورد نظر مشتری نصب، راه اندازی و کلیه تجهیزات آن تست می‌شود. پس از راه اندازی کامل، اصول کار با دستگاه و روش‌های انجام آزمایشات نیز به کاربر آموزش داده می‌شود.

پس از تعیین مکان مناسب با تعادل دمایی و عاری از گرد و غبار، قطعات دستگاه به صورت شکل شماره ۳ در کنار هم قرار گرفته و لاین ترجیحاً "1/4 اینچ از پانل ریگلاتور با دقت بالا و فشار خروجی حداکثر ۵۰۰ پام برای هلیوم به پشت دستگاه در موضع مشخص شده (Helium Supply) نصب می‌گردد. سپس لاین SS316 و یا پلاستیکی با تحمل فشار حداقل ۳۰۰ پام از پانل ریگلاتور با دقت مناسب با فشار تنظیم شده بر روی حدود ۸۰ پام به پشت دستگاه در موضع مشخص شده (Air Supply) نصب می‌گردد. با استفاده از لاین SS316 با تحمل فشار حداقل ۳۰۰۰ پام، اتصالات پشت دستگاه (To Plug Holder & To Whole Core Holder) به نمونه نگهدار مربوطه وصل می‌گردد (شکل ۱۱).

پس از اتصال کابل‌های برقی و شبکه دستگاه به کامپیوتر، سیستم روشن شده و آماده انجام کالیبراسیون و سپس اندازه گیری تخلخل و دانسیته از طریق برنامه‌های مربوطه می‌باشد.


فشار گاز هلیوم برای اندازه گیری تخلخل برای نمونه‌های پلاگ ترجیحاً "۱۵۰ پام و برای نمونه‌های تمام مغزه ترجیحاً "۲۵۰ پام تنظیم گردد، لیکن کارشناس مسئول دستگاه می‌تواند فشارهای دیگری (حداکثر ۵۰۰ پام) برای اندازه گیری نمونه‌های با شرایط خاص انتخاب و تنظیم نماید. در این صورت مجدداً "دستگاه باید با دیسک‌های مربوطه و در فشار مورد نظر با توجه به مراحل ذکر شده در بخش کالیبراسیون کالیبره گردد.





شکل شماره ۱۱: اتصالات پشت دستگاه که وضعیت هر کدام مشخص شده است.

## چگونگی کالیبراسیون دستگاه

**کالیبراسیون پلاگ مغزه:** پس از گرم شدن دستگاه به مدت نیم ساعت و ایجاد شرایط پایدار برای کالیبراسیون مجموعه محفظه نمونه پلاگ، با استفاده از  کلید **کالیبراسیون** در صفحه اصلی نرم افزار، انجام کالیبراسیون پلاگ را انتخاب و به ترتیب جدول زیر، دیسک های کالیبراسیون درون محفظه نمونه نگهدار پلاگ قرار گرفته می شود. دستگاه در هر مرحله شماره دیسک (های) مربوطه را نمایش داده و با تایید اپراتور به مرحله بعد می رود. دقت شود حتماً "دیسک (های) درخواستی توسط نرم افزار دستگاه داخل محفظه قرار داده شود. در غیر اینصورت تمام مراحل کالیبراسیون باید تکرار گردد. با توجه به دماسنج داخل دستگاه، تغییرات دمایی را می توان کنترل کرد. آخرین دمای ثبت شده در نرم افزار به عنوان دمای مبنا استفاده می شود و نرم افزار اندازه گیری تخلخل تغییرات دمایی بیش از  $3^{\circ}\text{C}$  را هشدار می دهد.

در انتهای مراحل کالیبراسیون، می توان قبل از اندازه گیری تخلخل نمونه های مورد نظر، دیسک کالیبراسیون شماره C.I. 104 (H.P.2) را داخل دستگاه قرار داده و حجم آن را اندازه گیری نمایید ( $V_{gr}$ ). در صورتی که حجم آن بیشتر از  $\pm 0.5\%$  درصد با حجم اصلی دیسک تفاوت داشت، کالیبراسیون دستگاه باید مجدداً انجام گردد. عدد Residue نیز باید کمتر از  $0.01\%$  درصد باشد.

در صورتی که مرحله پرشدن سل گاز هلیوم و بسته شدن شیر P.V.1 بیش از ۳ دقیقه طول کشید، فشار مرجع انتخاب شده توسط نرم افزار را در مسیر C/NORMAND در فایل SurcePr.txt مشاهده نموده و فشار گاز هلیوم را با ریگلاتور به مقدار بسیار کمی افزایش دهید. نرم افزار منتظر می ماند تا سل با دقت  $\pm 0.03$  پام نسبت به فشار مرجع پر شود. در صورتی که از ریگلاتور دقیق برای تامین فشار گاز هلیوم استفاده گردد این مسئله به ندرت اتفاق می افتد.

جدول شماره ۵: مراحل بارگذاری دیسک های کالیبراسیون نمونه پلاگ					
شماره مرحله	نوع دیسک	شماره مرحله	نوع دیسک	شماره مرحله	نوع دیسک
۱	C.I. 101	۶	C.I. 102 و C.I. 103	۱۱	C.I. 102، C.I. 101 و C.I. 104
۲	C.I. 102	۷	C.I. 101، C.I. 102 و C.I. 103	۱۲	C.I. 104 و C.I. 103
۳	C.I. 101 و C.I. 102	۸	C.I. 104	۱۳	C.I. 103، C.I. 101 و C.I. 104
۴	C.I. 103	۹	C.I. 101 و C.I. 104	۱۴	C.I. 103، C.I. 102 و C.I. 104
۵	C.I. 101 و C.I. 103	۱۰	C.I. 102 و C.I. 104	۱۵	C.I. 102، C.I. 101 و C.I. 103

**کالیبراسیون تمام مغزه:** پس از گرم شدن دستگاه به مدت نیم ساعت و ایجاد شرایط پایدار در دستگاه برای کالیبراسیون مجموعه محفظه نمونه تمام مغزه، با استفاده از کلید **کالیبراسیون** در صفحه اصلی نرم افزار دستگاه انجام کالیبراسیون تمام مغزه را انتخاب و به ترتیب جدول زیر دیسک و یا سیلندرهای کالیبراسیون درون محفظه نمونه نگهدار تمام مغزه قرار گرفته می شود. دستگاه در هر مرحله شماره دیسک و یا سیلندر کالیبراسیون مربوطه را نمایش داده تا به داخل محفظه اضافه گردد و با تایید اپراتور به مرحله بعد می رود. در انتهای مراحل کالیبراسیون، قبل از اندازه گیری تخلخل نمونه های مورد نظر، می توان سیلندر آلومینیومی همراه سیستم را داخل دستگاه قرار داده و حجم آن را اندازه گیری نمایید ( $V_{gr}$ ). در صورتی که حجم آن بیشتر از  $\pm 0.5$  درصد با حجم اصلی سیلندر آلومینیومی تفاوت داشت، کالیبراسیون دستگاه باید مجدداً انجام گردد. عدد Residue نیز باید کمتر از  $0.1$  درصد باشد. حجم سیلندر آلومینیومی ۸۵۱/۹۲۹ سی سی می باشد.

جدول شماره ۶: مراحل بارگذاری دیسک/سیلندرهای کالیبراسیون نمونه تمام مغزه			
شماره مرحله	نوع دیسک/سیلندر	شماره مرحله	نوع دیسک/سیلندر
۱	C.I. 201 (H.P.2)	۹	+ C.I. 209 (H.P.2)
۲	+ C.I. 202 (H.P.2)	۱۰	+ C.I. 210 (H.P.2)
۳	+ C.I. 203 (H.P.2)	۱۱	+ C.I. 211 (H.P.2)
۴	+ C.I. 204 (H.P.2)	۱۲	+ C.I. 212 (H.P.2)
۵	+ C.I. 205 (H.P.2)	۱۳	+ C.I. 213 (H.P.2)
۶	+ C.I. 206 (H.P.2)	۱۴	+ C.I. 214 (H.P.2)
۷	+ C.I. 207 (H.P.2)	۱۵	+ C.I. 215 (H.P.2)
۸	+ C.I. 208 (H.P.2)	۱۶	+ C.I. 216 (H.P.2)

در کالیبراسیون محفظه نمونه تمام مغزه پس از جاگذاری دیسک C.I. 201 (H.P.2)، دیسک ها و سیلندر های بعدی به ترتیب مراحل جدول شماره ۶ به درون محفظه اضافه می شوند.

### چگونگی محاسبات و اندازه گیری تخلخل

با بدست آوردن حجم دانه ای نمونه سنگ ( $V_{gr}$ ) از دستگاه، مشخص بودن حجم کل نمونه ( $V_{bulk}$ ) از داده های طول ( $L$ )، قطر ( $D$ ) و وزن خشک نمونه ( $m$ )، تخلخل ( $Porosity$ ) و دانسیته دانه ای ( $Grain Density$ ) نمونه سنگ بدست می آید. طول و قطر نمونه باید با استفاده از کولیس کالیبره شده اندازه گیری گردد.

نمونه های با گوشه های شکسته، سطح مقطع های غیر موازی و سطح بدنه غیریکنواخت (غیر استوانه ای) باعث ایجاد خطای قابل ملاحظه ای می گردد. در اینصورت تخلخل اندازه گیری شده نمونه توسط این دستگاه با تخلخل حاصل از اشباع و اندازه گیری وزن خشک و تر نمونه مقایسه گردد تا اطلاعات مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

برای اندازه گیری تخلخل نمونه های سنگ، پس از کالیبراسیون دستگاه با فشار مورد نظر، با فشردن کلید **اندازه-گیری خودکار** صفحه اصلی نرم افزار، پنجره شکل ۸ باز می شود. از آخرین اطلاعات کالیبراسیون نمونه های پلاگ و تمام مغزه برای اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه سنگ استفاده می شود.

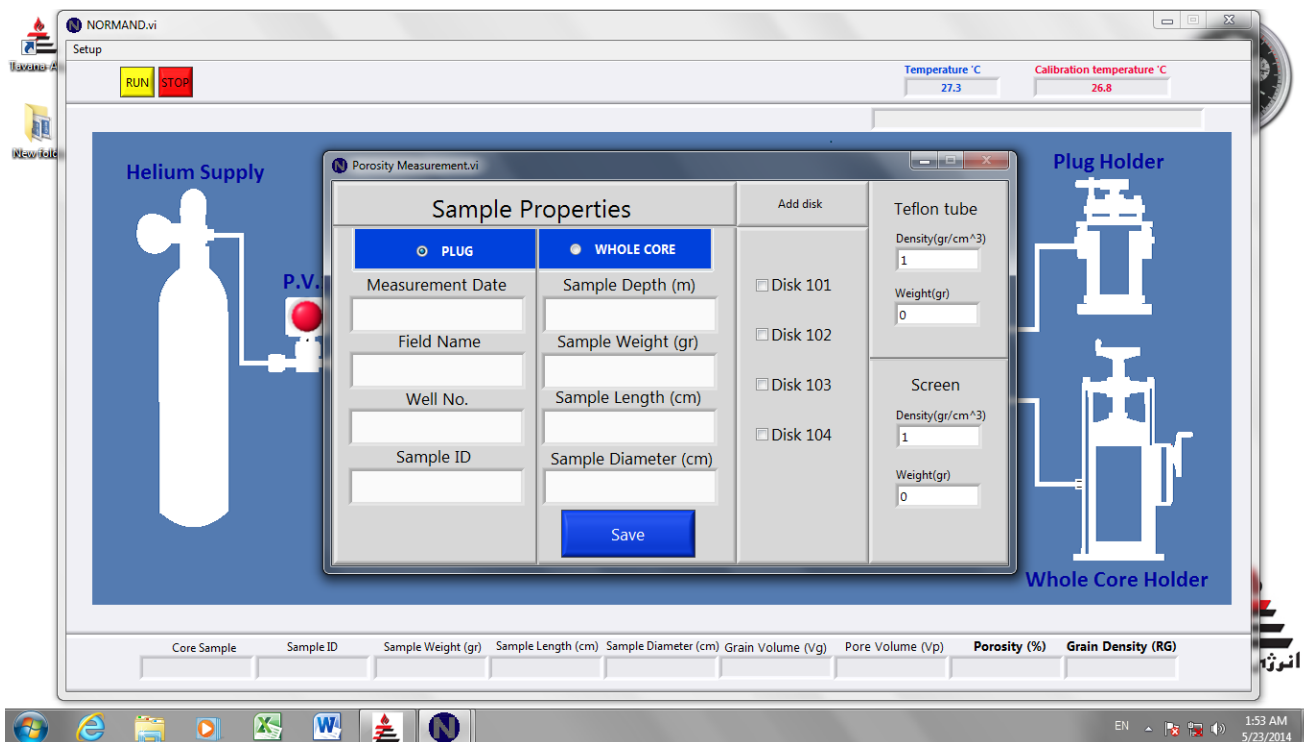
با فشردن دکمه **Run** RUN ، ارتباط نرم افزار با دستگاه برقرار می شود که با نمایش فشار سیستم مشخص می شود. سپس آیکن **Porosity Measurement** را فشرده و با وارد کردن داده های نمونه در پنجره **Sample Properties** (شکل های شماره ۱۲ و ۱۳) اندازه گیری تخلخل شروع می شود. در این پنجره نوع نمونه **Plug** و یا **Whole Core** را انتخاب کرده و داده های مورد لزوم را وارد و ذخیره می نماییم. در اندازه گیری تخلخل نمونه پلاگ تمامی دیسک های کالیبراسیون، و برای نمونه های تمام مغزه دیسک های ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۴، ۲۰۶، ۲۰۸ و سیلندر آلومینیوم قابل انتخاب می باشد. پس از اطمینان از داخل بودن نمونه درون محفظه، ادامه کار با باز شدن شیر **P.V.1** برای پر کردن سل از گاز هلیوم در فشار مورد نظر کالیبره شده انجام می گیرد.

پس از پر شدن سل از هلیوم تا فشار مورد نظر، شیر **P.V.1** بسته شده و با پایداری فشار درون سل، با توجه به انتخاب نوع نمونه مورد نظر برای اندازه گیری، شیر **P.V.2** و یا شیر **P.V.3** باز می شود تا هلیوم به محفظه نمونه نگهدار وارد شده و درون نمونه نفوذ نماید. شیر **P.V.2** به نمونه نگهدار پلاگ و شیر **P.V.3** به نمونه نگهدار تمام مغزه ارتباط دارد. با پایداری فشار درون سل و محفظه، داده های مورد لزوم ثبت و نتایج اندازه گیری در پایین پنجره نمایش داده می شود و در فایل مورد نظر ذخیره می گردد. نرم افزار به اندازه کافی برای پایداری فشار داخل نمونه منتظر می ماند تا فشار داخل محفظه با دقت  $\pm 0.3\%$  پام ثابت بماند. در پایان برای کاهش حداکثری مصرف گاز هلیوم، ابتدا شیر ورودی نمونه بسته و سپس شیر تخلیه نمونه باز می شود.

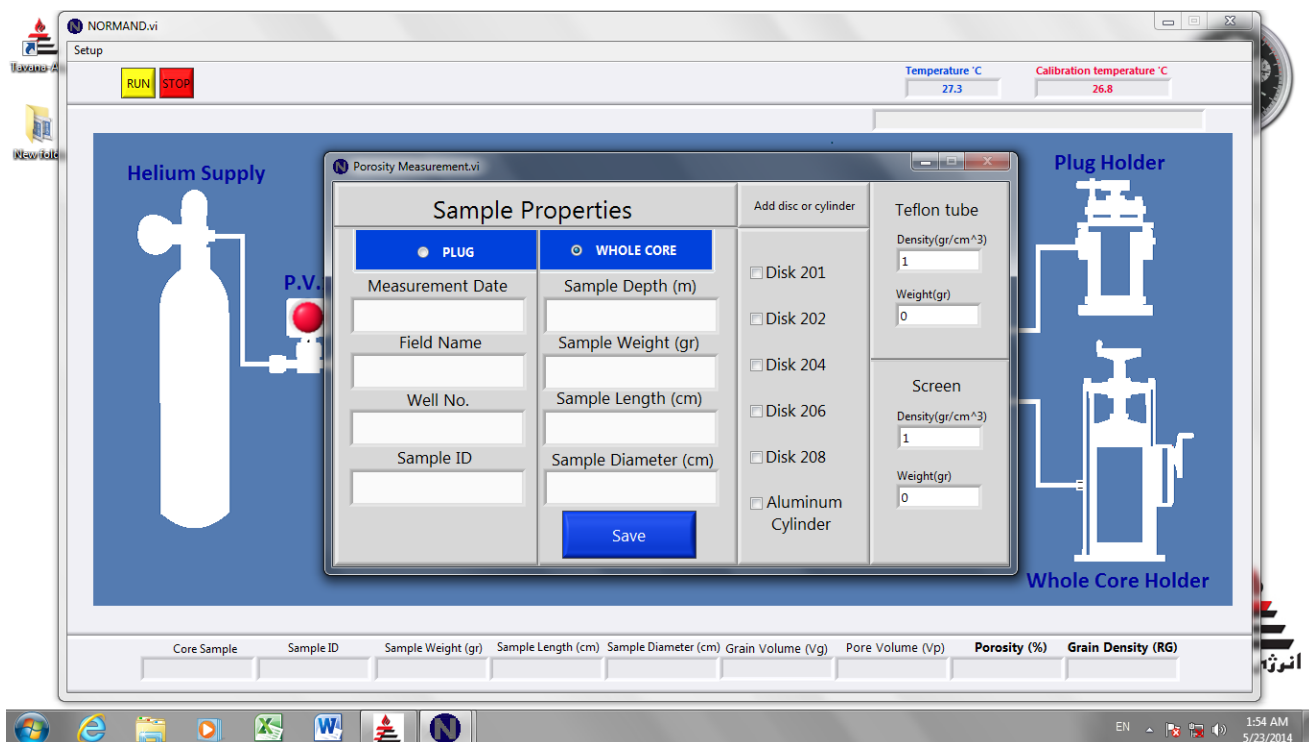
لازم به ذکر است که فشار مورد نظر نرم افزار برای اندازه گیری تخلخل، فشاری است که آخرین کالیبراسیون انجام شده است، لذا فشار هلیوم تامین شده نباید بیش از  $\pm 0.1\%$  پام با فشار کالیبراسیون اختلاف داشته باشد. در اختلاف فشار بیش از این، نرم افزار منتظر می ماند تا فشار گاز مورد لزوم در داخل سل تامین شود. در این صورت اگر اختلاف فاحشی وجود داشته باشد، اپراتور باید ریگلاتور را مجدداً در فشار کالیبراسیون تنظیم نماید. با توجه به دقت بسیار زیاد، حساسیت دستگاه به وجود فشار یکسان در مراحل کالیبراسیون و اندازه گیری زیاد است. بنابراین وجود ریگلاتور بسیار دقیق الزامی است.

همزمان داده های اندازه گیری در فایل با نام تاریخ روز در پوشه **D\NORMAND** ذخیره می شود. با فشردن مجدد دکمه **Porosity Measurement**، تخلخل نمونه بعدی را می توان اندازه گیری کرد و در پایان آزمایش **Stop** را کلیک کرده تا نرم افزار بسته شود. تمام داده های نمونه های مغزه اندازه گیری شده در فایل **Excel** با نام تاریخ روز اندازه گیری در درایو **D** ذخیره می شود.

لازم به ذکر است که خطای اندازه گیری در نمونه های با تخلخل کمتر از ۰.۲٪ به شدت وابسته به صحت طول و قطر اندازه گیری شده می باشد و با تکرار اندازه گیری، داده های نسبتاً متفاوتی (±۰/۵٪) ارائه می دهد.



شکل شماره ۱۲: پنجره مشخصات نمونه جهت اندازه گیری تخلخل و دانسیته. در این پنجره نمونه پلاگ انتخاب شده است.



شکل شماره ۱۳: پنجره مشخصات نمونه جهت اندازه گیری تخلخل و دانسیته. در این پنجره نمونه تمام مغزه انتخاب شده است.

آخرین دمایی ثبت شده در نرم افزار به عنوان دمایی مبنا استفاده می شود و نرم افزار اندازه گیری تخلخل تغییرات دمایی بیش از  $3^{\circ}\text{C}$  را هشدار می دهد. با این هشدار و با توجه به دقت مورد نیاز، دیسک کالیبراسیون شماره ۱۰۴ برای پلاگ و سیلندر آلومینیومی برای تمام مغزه را چک نمایید. در صورتی که حجم آن بیشتر از  $\pm 0.5\%$  درصد با حجم اصلی دیسک تفاوت داشت، کالیبراسیون دستگاه باید مجدداً انجام گردد.

## نکات ایمنی و نحوه نگهداری دستگاه

از دستگاه باید در محیط بدون گرد و غبار و با شرایط دمایی پایدار برای انجام آزمایشات و کالیبراسیون استفاده گردد، برای دست یابی به دقیق ترین نتایج، همیشه باید نمونه نگهدارها و اجزای آن ها را تمیز و عاری از گرد و غبار کرد. برای جلوگیری از ایجاد خطا در اثر تغییرات دمایی، همواره در طول انجام آزمایشات، بخصوص در حین انجام کالیبراسیون، از دستکش پلاستیکی استفاده نمایید تا تبادل دمایی محفظه های نمونه نگهدار و دیسک های کالیبراسیون دستگاه با اپراتور انجام آزمایشات به حداقل کاهش یابد. در صورت تغییرات دمایی بیش از  $3^{\circ}\text{C}$  در حین کالیبراسیون و انجام آزمایشات، خطای اندازه گیری افزایش می یابد.

در صورت کاهش فشار سیلندر گاز هلیوم تا ۱۰۰ پام بیش تر از فشار مورد استفاده در اندازه گیری تخلخل و دانسیته نمونه ها، سیلندر گاز هلیوم جهت انجام آزمایشات بعدی باید تعویض گردد. جهت تعویض سیلندر دستگاه را خاموش کرده و پس از نصب سیلندر جدید از وجود فشار مورد نیاز آزمایش اطمینان حاصل نمایید. در غیر این صورت ریگلاتور گاز هلیوم را بطور دقیق در فشار مورد لزوم تنظیم نمایید. برای تنظیم دقیق فشار مورد لزوم می توان از برنامه MANUAL CONTROL NORMAND و باز کردن شیر ورود گاز هلیوم به داخل سل استفاده کرد. ضروری است تمامی نکات ایمنی در مورد سیلندرها، گاز، نحوه و محل نگهداری و مراحل تعویض آن ها رعایت گردد.

جهت ایمنی لازم است قبل از باز کردن هر یک از اتصالات پشت دستگاه، از تخلیه شدن گاز محبوس شده در مسیر از ریگلاتور تا محل اتصالات اطمینان حاصل نمایید. برای این کار می توان از دکمه Emergency Vent استفاده کرد. مدت زمان بازبودن شیرهای پنوماتیک توسط تایمر بر حسب ثانیه تنظیم می گردد.

## گارانتی و خدمات پس از فروش

این دستگاه و کلیه تجهیزات نصب شده در آن پس از نصب و راه اندازی کامل توسط کارشناسان گروه مهندسی پترولب تجهیز، شامل گارانتی یکساله و ۱۰ سال خدمات پس از فروش این گروه زیر نظر شرکت مهندسی انرژی توانا می باشد. دستگاه به درخواست مشتری مورد بازدید دوره ای قرار خواهد گرفت.

گارانتی شامل قطعات شکستنی و خسارات ناشی اعمال فشارهای بیش از حد مجاز تعیین شده، نوسانات برق و سهل انگاری در نگهداری دستگاه نمی شود. در صورت تعمیر دستگاه توسط افرادی غیر از پرسنل گروه انرژی توانا، گارانتی آن ابطال می شود.