

## چگونگی ساخت و استفاده از ترازوی هیدرو استاتیک آزمایشگاهی

یاسین صدقی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد باستان‌سنجی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز دانشکده هنرهای کاربردی  
(مکاتبات: sedghi.yassin@yahoo.com)

### چکیده

ترازوی هیدرو استاتیکی آزمایشگاهی یا ترازوی ارشمیدس از جمله تجهیزاتی است که در بررسی و اندازه‌گیری خواص فیزیکی، از جمله تعیین چگالی ظاهری، جرم حجمی، درصد تخلخل و جذب آب مواد و مصالح ساختمانی کاربرد دارد. با توجه به عدم تجهیز بسیاری از آزمایشگاه‌های حوزه‌ی مطالعات مقاومت مصالح و همچنین امکان ساخت بسیاری از ابزارهای آزمایشگاهی با استفاده از وسایل در دسترس، در این مقاله روش پس از مروری بر تکامل انواع ترازوی‌های هیدرو استاتیک، فرآیند ساخت و استفاده از نمونه آزمایشگاهی آن شرح داده شده است نتایج استفاده از دستگاه فوق نشان‌دهنده ساخت کارآمد این دستگاه با استفاده از ابزارهای موجود دارد.

**کلمات کلیدی:** ترازوی هیدرو استاتیک، روش ساخت، جذب آب، چگالی ظاهری، خواص فیزیکی.

### How to Build and Use a Hydrostatic Balance Laboratory

Sedghi., Yasin

*M.Sc. in Archaeometry, Faculty of Applied arts, Tabriz Islamic Art University/ IRAN*

#### Abstract

Laboratory hydrostatic balance or the balance of Archimedes is equipment that used to determine physical properties, and apparent density, density, porosity of building materials. Due to the lack of laboratory equipment for measuring the physical and mechanical properties of building materials in some small lab as well as the possibility of making the most useful laboratory instruments by exploiting the existing tools, , in this paper after a brief review on the evolution of hydrostatic balance types, the making process and use of that explained. The application of devices shows the efficient results for this system that was made for simple physical tests.

**Kay words:** Hydrostatic Balance, making method, water absorption, apparent density, physical properties

## ۱- مقدمه

در رابطه با تاریخچه و اختراع ترازوی هیدرو استاتیک عمده منابع ماجرای تفکیک طلای آلیاژی از طلای واقعی توسط ارشمیدس<sup>۱</sup> (287 B.C. to 212/211 B.C.) را ذکر می‌کند به نحوی که وی با کشف و گزارش تغییرات حجمی آب در اثر غوطه‌ورسازی اشیاء به یکی از چشمگیرترین رازهای طبیعت مبنی بر اینکه می‌توان اجسام سخت را با کمک مقدار آبی که جابجا می‌کنند اندازه‌گیری کرد پی برد (Sinkankas, 1986). هنگامی که یک شیء در سیالی غوطه‌ور شود نیروی جاذبه سعی در پایین آوردن آن شیء دارد، در همین زمان نیروی بازگرداننده روبه بالا و در جهت خلاف نیروی جاذبه به شیء وارد می‌شود که مقدار آن برابر با وزن سیال جابجا شده توسط آن جسم است (Rorres, 2004). این اصل به قانون ارشمیدس معروف است که در مورد هر شیء فرورفته در مایع (شناور و غوطه‌ور) صادق است (فهیمی فر و همکاران، ۱۳۸۰: ۵۶). یکی از بهترین ابزارهایی که در آزمایشگاه برای اندازه‌گیری مقدار حجم و چگالی ظاهری<sup>۲</sup> مواد (خواص فیزیکی) کاربرد دارد، دستگاه ترازوی هیدرو استاتیکی<sup>۳</sup> آزمایشگاهی است (Sinkankas, 1986). با توجه به کاربرد مناسب و دقیق این دستگاه برای تعیین چگالی ظاهری، چگالی نسبی، جرم حجمی، میزان جذب آب و تخلخل آثار معدنی، مواد و مصالح ساختمانی در مرمت آثار فرهنگی و بناهای تاریخی، همچنین با توجه به نحوه ساخت سریع و آسان چنین دستگاهی و عدم وجود آن در برخی آزمایشگاه‌های مصالح ساختمانی و مرمت موجب شد تا در این مقاله نحوه ساخت ترازوی هیدرو استاتیکی آزمایشگاهی ساده و شیوه محاسبه چگالی ظاهری و حجم با استفاده از رابطه‌های آن را شرح داده شود.

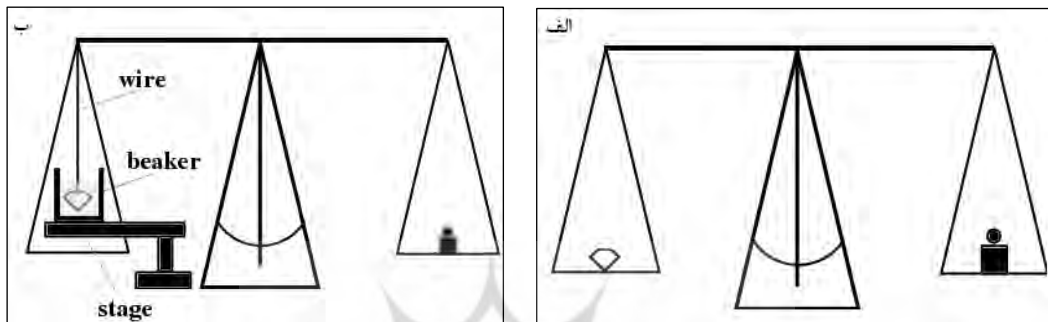
## ۲- ترازوی هیدرو استاتیکو انواع آن

ترازوی هیدرو استاتیک را ترازوی ارشمیدس نیز می‌نامند. روش نظری و فرضیات ارشمیدس به دقت توسط گالیله مورد مطالعه قرار گرفت (۱۵۶۴-۱۶۴۲). گالیله دستگاهی با دقت بالا، یا ترازوی کوچک (بیلانستا)<sup>۴</sup> را توصیف نموده که بر مبنای اصل وزن مخصوص ارشمیدس بنا شده است<sup>۵</sup>. اجسام وزن شده در آب سبک‌تر از زمانی هستند که در هوا وزن شده‌اند. این اختلاف نسبی بر اساس نسبت وزن مخصوصشان در آب است به همین جهت با این ترازو می‌توان وزن مخصوص و چگالی ظاهری که در سیال غوطه‌ور می‌شود را حساب نمود (Este, 1962).

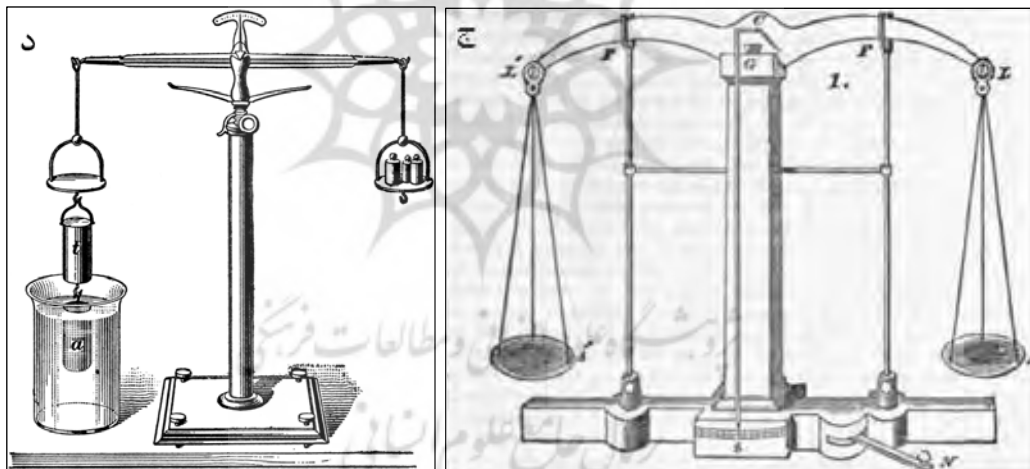
### ۲-۱- ترازوی دوکفه‌ای<sup>۶</sup>

این‌گونه ترازوها اغلب در فروشگاه‌های طلا و جواهرسازی کاربرد داشته؛ و به‌ندرت برای آزمایشات چگالی ظاهری سنگ‌ها استفاده می‌شوند. زیرا حالت تعادلی‌شان عموماً بیش‌ازحد بزرگ است به همین جهت هیچ کمکی در این زمینه نمی‌کنند. گذشته از این نیاز به همسنجی آن‌ها به مدت هرچند سال ضروری است. در این دستگاه یک سنگ در کفه سمت چپ ترازو و وزنه‌ها در کفه سمت راست قرار داده می‌شوند تا ترازو در حالت صفر قرار گیرد. هنگامی که ترازو در حالت تعادل و تراز قرار گرفت، مجموع وزن‌ها در کفه سمت راست نیز ثبت شده که نشان‌دهنده وزن سنگ در هوا است (تصویر ۱).

سپس در مرحله بعد یک بشر پر از آب بر روی پایه قرار داده می‌شود و بعد از آن، یک سیم مفتول نازک متصل به سبد را در سمت چپ وزنه ترازو آویزان نموده، و سپس در آب غوطه‌ور می‌شود، که در این مرحله، ترازو باید در تعادل کامل، به وسیله اضافه نمودن یک وزنه کوچکی که برابر با وزن سبد است باشد. سنگ به وسیله سیم نازک درون سبد قرار گرفته و سپس در آب غوطه‌ور می‌شود. مجدداً وزنه‌ها در کفه سمت راست قرار داده شده، و در نتیجه به وزن سنگ درون آب اضافه خواهد شد. در نهایت با به دست آوردن هردو وزن سنگ، در آب و در هوا، می‌توان با انجام محاسبات میزان چگالی ظاهری آن را به دست آورد. باید توجه داشت که برای تهیه سیم نازک و سبد از موادی که جاذب آب هستند استفاده نشود زیرا باعث تفسیر اشتباه نتایج خواهند شد (Hughes, 2005) (تصویر ۲).



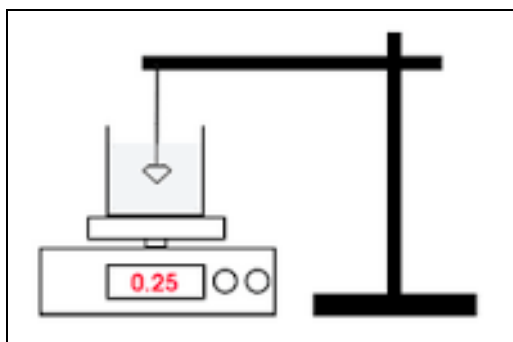
تصویر ۱. محاسبه وزن سنگ در هوا (الف) و آب (ب) (Hanneman, 2005)



تصویر ۲. شماتیک کلی از یک ترازوی دو کفه‌ای (ج، د) (Hebert, 1836)

## ۲-۲- ترازوی یک کفه‌ای<sup>۷</sup>

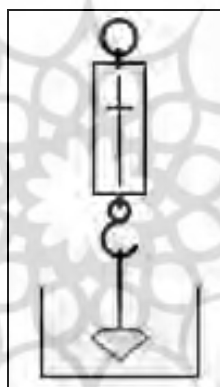
بیشتر ترازوهای سنگ‌شناسی از این نوع هستند؛ که می‌تواند با توجه به اهداف خاص برای محاسبه عیار تا گرم مورد استفاده قرار گیرند. برای آماده‌سازی این‌گونه ترازوهای هیدرو استاتیک می‌توان از ترازوهای دیجیتالی استفاده نمود. در این شیوه نمونه به وسیله یک سیم نازک در درون بشر پر از آب قرار داده می‌شود، که در این حالت بشر را باید به‌طور مستقیم بر روی ترازو قرارداد (تصویر ۳).



تصویر ۳. طرح شماتیک ترازوی یک کفه‌ای (Hanneman, 2005)

### ۳-۲- ترازوی فنری (ارتجاعی)<sup>۸</sup>

این‌گونه از ترازوهای هیدرو استاتیکی می‌توانند هنگامی مورد استفاده قرار گیرند که نمونه‌ها بزرگ و یا سنگین‌تر از ترازوی معمول در دسترس خواهند بود. قبل از وزن، البته باید وزن بخشی از ترازو که در آب غوطه‌ور است را باید کسر کرد. مطابق قبل، سنگ دارای یک وزن درون آب و یک وزن در هوا است (تصویر ۴).



تصویر ۴. ترازوی هیدرو استاتیکی دستی فنری، که برای نمونه‌های بزرگ کاربرد دارد (Hanneman, 2005)

### ۴-۲- ترازوی مطالعه مستقیم<sup>۹</sup>

این‌گونه ترازوها بر اساس دو اصل قانون ارشمیدس و اهرم ارشمیدس کار می‌کنند؛ که توسط ترازوی کوچک گالیه مورد انطباق و تغییر قرار گرفتند (Heath. 1897: 261). همان‌طور که در تصویر زیر نمونه‌ای از آن رامی‌تان مشاهده نمود. در واقع، ترازوهای هیدرو استاتیک شیشه‌ای برآمده کوچک، شامل یک بازوی معلق در یک تکیه‌گاه پایه‌دار در مرکز است. یک شیشه محکم کروی معلق از انتهای یک طرف بازو، و یک سبد کوچک شامل قطعات کریستالی که از طرف انتهای دیگر بازو معلق است. این ترازو چگالی مایعات را، به وسیله غوطه‌ور نمودن گوی شیشه‌ای در یک مایع اندازه‌گیری می‌نماید تا وزنه تعادل نیروی بالابر (نیروی ارشمیدس) مایعات و ترازو را در تعادل نگه می‌دارد. مایعات چگال‌تر به قطعات کریستالی کمتری نیاز دارند تا به تعادل برسند. این دستگاه ترکیبی از اصول ارشمیدس (فشار به سمت بالا) و بیلانستای گالیه است (Sinkankas, 1986) (تصویر ۵).



تصویر ۵. ترازوی هیدرو استاتیک شیشه‌ای و بیلا نسیلای گالیله (<http://catalogue.museogalileo.it>)

ترازوی هیدرو استاتیکی که برای نمونه‌های بزرگ و فله‌ای تعبیه شده، نمونه‌های سنگ و مصالحی که دارای ابعاد بزرگ هستند را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. همان‌طور که در تصویر زیر مشاهده می‌شود این‌گونه ترازوها دارای یک سطل بزرگ برای قرار دادن نمونه‌ها بوده و به وسیله اهرمی که در کنار دستگاه قرار داده شده، به سمت بالا کشیده می‌شود؛ سپس وزن آن به وسیله ترازوی دیجیتالی ثبت خواهد شد. اصول این دستگاه نیز همانند سایر دستگاه‌های هیدرو استاتیکی (تفاوت وزن مصالح خشک با مصالح تر میزان جذب آب را نشان می‌دهد) که در بالا توضیح داده شده است (تصویر ۶).



تصویر ۶. ترازوی هیدرو استاتیکی برای نمونه‌های فله‌ای و بزرگ (<http://www.mastest.com>)

### ۳- وسایل و مواد مورد نیاز

در ساخت یک ترازوی هیدرو استاتیک آزمایشگاهی، نیاز به یکسری مواد و ابزارهایی از جمله ترازوی دیجیتالی آزمایشگاهی، پیچ و مهره، صفحه نازک فلزی، سیم، پایه نگه‌دارنده و در نهایت یک سطل یا بشر مدرج است؛ که تمامی این ابزارها و مواد به راحتی در یک آزمایشگاه و یا بازار یافت می‌شوند.

### ۳-۱- ترازوی آزمایشگاهی

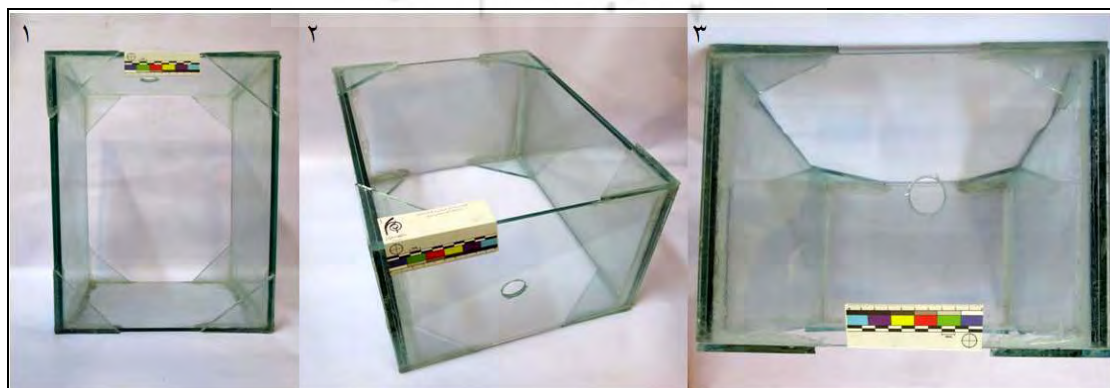
یکی از مهم‌ترین ابزارهای آزمایشگاهی، دستگاه ترازوی دیجیتالی است که یکی از روش‌های استاندارد برای محاسبه دقیق مواد گرمی و غیره است. ترازوهای دیجیتالی آزمایشگاهی برحسب میزان دقت آن‌ها به مدل‌های گوناگون بزرگ و کوچک تقسیم می‌شود، که با توجه به میزان حساسیت آزمایش موردنظر در آزمایشگاه می‌توان مناسب‌ترین نوع را برای آزمایش تعریف کرد.

### ۳-۲- پایه نگه‌دارنده

برای ساخت پایه نگه‌دارنده، می‌توان از مواد سخت و محکمی (شیشه، فلز، چوب و غیره) که دارای مقاومت مناسبی برای نگهداری ترازوی دیجیتالی و دیگر اجزای ترازوی هیدرو استاتیکی است استفاده کرد. در اینجا برای ساخت پایه نگه‌دارنده از شیشه به علت در دسترس بودن آسان مورد استفاده قرار گرفت. در تهیه چنین پایه‌ای باید به یکسری نکات از قبیل شفافیت آن برای دیده شدن اجزای داخلی پایه، فضای کافی برای قرار دادن اجزاء دستگاه درون آن، مقاومت، و نحوه تعبیه نمودن منفذ که در قسمت فوقانی آن است توجه نمود. منفذ ایجاد شده باید با محلی که برای متصل نمودن سیم رابط در زیر ترازوی دیجیتالی تعبیه شده همخوانی داشته و در یک راستا قرار گرفته باشند (تصویر ۷ و ۸).



تصویر ۷. نمونه‌ای از پایه نگه‌دارنده آماده



تصویر ۸. پایه نگه‌دارنده شیشه‌ای، تصویر از سه نمای کلی پایه ساخته شده



### ۳-۳- قفسه نگه‌دارنده نمونه

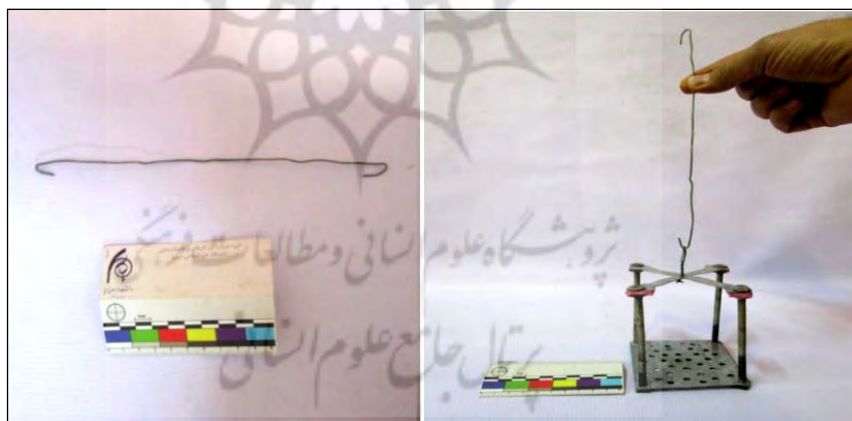
این قسمت برای نگهداری نمونه مورد مطالعه در سیال (آب) تعبیه می‌شود. این قفسه را می‌توان به صورت‌های مختلفی همانند سبدها، قفسه‌ها و غیره تهیه نمود. قسمت تحتانی (کف) آن باید دارای منافذ و سوراخ‌هایی برای حرکت آب بر روی سطح داخلی آن باشد (تصویر ۹).



تصویر ۹. قفسه نگه‌دارنده نمونه به همراه جزئیات ساخته‌شده از جنس فلز، تصویر از سه نمای کلی قفسه

### ۳-۴- سیم واصل

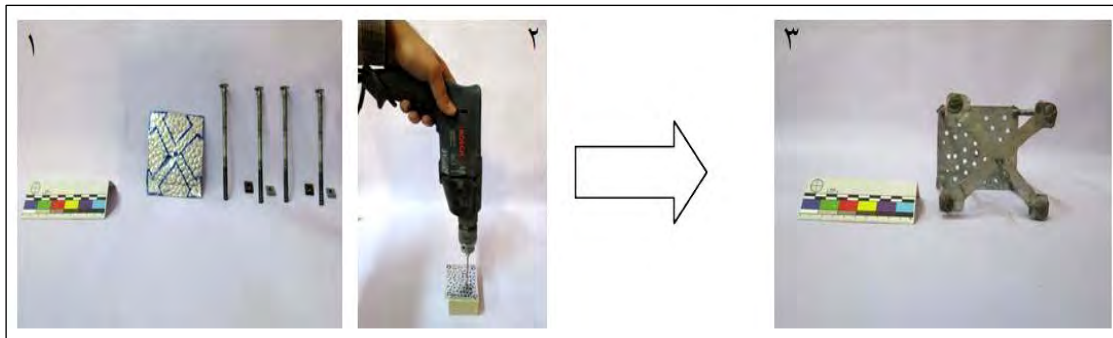
سیم واصل از یک‌سو به ترازو و از سمت دیگر به قفسه نگه‌دارنده متصل می‌شود (تصویر ۱۰). نکته‌ی قابل توجه در این بخش بعد از اتمام آزمایش باید سیم رابط از ترازو جدا شود؛ زیرا به علت وزنی که به ترازو وارد می‌کند باعث آسیب رسیدن به آن خواهد شد.



تصویر ۱۰. سیم واصل و نحوه اتصال آن به قفسه نگه‌دارنده نمونه

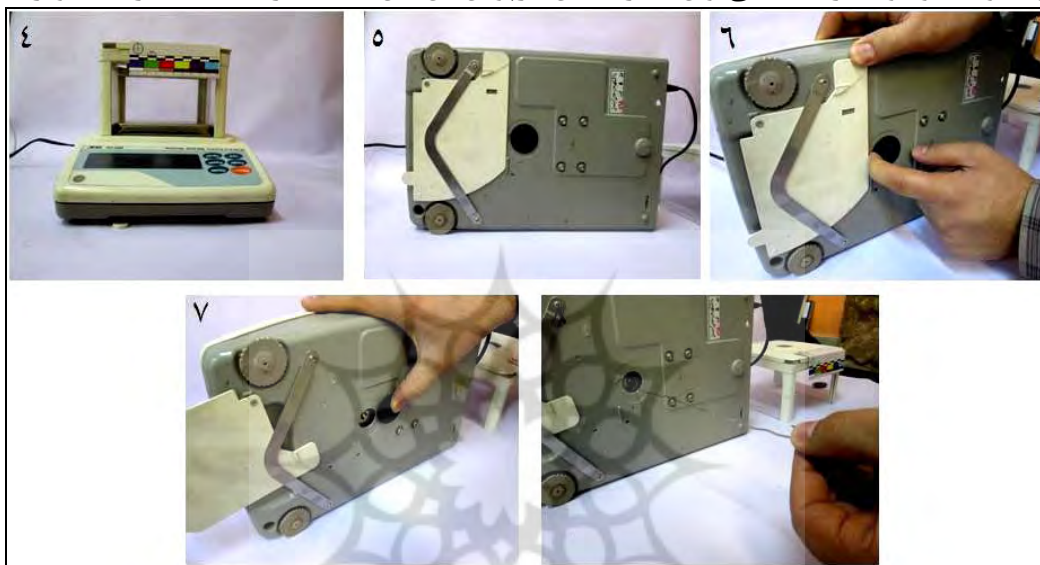
### ۴- روش ساخت و چگونگی استفاده از آن

برای ساخت قفسه نگه‌دارنده نمونه، نیاز به دو صفحه نازک فلزی، ۴ قطعه پیچ و مهره است. همان‌طور که در تصویر (۱۱) قابل مشاهده است؛ این قفسه دارای صفحه‌ای در کف است که یکسری حفرات برای عبور آب و حرکت در سطح صفحه (جابجایی و لغزش ماده سیال)، توسط دریل تعبیه می‌شوند. قسمت فوقانی قفسه را به صورت ضربدری برش داده تا بهترین حالت را برای اتصال پیچ‌ها و نقطه‌ی اتصال به سیم واصل فراهم شود.



تصویر ۱۱. مراحل ساخت قفسه نگه‌دارنده نمونه به همراه جزئیات آن

در قسمت زیرین تمامی ترازوهای دیجیتال آزمایشگاهی امکان استفاده از یک گیره اتصال‌دهنده برای توزین نمونه‌ها وجود دارد، که می‌توان با برداشتن درپوش آن این قسمت را مشاهده کرد (تصویر ۱۲).



تصویر ۱۲. مراحل برداشتن درپوش ترازو و اتصال سیم واصل به آن

با قرار دادن ترازو بر روی پایه‌ی نگه‌دارنده و متصل نمودن سیم رابط به ترازو و قفسه نگه‌دارنده نمونه ترازوی هیدرو استاتیکی آزمایشگاهی برای انجام آزمایش آماده خواهد بود. برای انجام آزمایش باید قفسه نگه‌دارنده نمونه در درون یک بشر مدرج قرار داده و سپس تا قسمت بالای قفسه، بشر از آب پر شود. (تصویر ۱۳).



تصویر ۱۳. نحوه قرارگیری ترازو بر روی پایه نگه‌دارنده تا رسیدن به مرحله نهایی ساخت ترازوی هیدرو استاتیک آزمایشگاهی



## ۵- روش انجام و محاسبه نتایج آزمون

### ۵-۱- چگالی ظاهری ( $M_v$ )

نسبت بین جرم (برحسب کیلوگرم) به حجم ظاهری (برحسب مترمکعب) محصورشده بین سطوح خارجی جسم را چگالی ظاهری گویند (Sukhon, 2011).

### ۵-۲- جذب آب (C)

حداکثر مقدار آب جذب شده توسط مصالح، هنگامی که درون آب غیر یونیزه در دما و فشار اتاق به صورت غوطه‌ور، جذب آب گویند که برحسب درصدی از جرم خشک نمونه بیان می‌شود (Bs En, 2005).

### ۵-۳- اساس کار

حجم نمونه‌هایی که شکل هندسی منظم و یا غیرمنظم دارند را می‌توان از اختلاف بین جرم نمونه‌ی اشباع با سطح خشک شده و جرم نمونه‌ی اشباع در حالت غوطه‌ور در آب محاسبه نمود (قانون ارشمیدس). قابل ذکر است که این روش برای سنگ‌های سست و کم‌دوام که در آب خرد شده و یا دچار تورم می‌گردند مناسب نیست. نمونه در داخل آب به مدت یک ساعت اشباع می‌گردد. در این مدت باید نمونه را مرتباً تکان داد تا حباب‌های هوای آن تخلیه شود. جرم نمونه اشباع غوطه‌ور با دقت ۰/۱ گرم از تفاضل بین جرم اشباع غوطه‌ور قفسه، نمونه و جرم اشباع غوطه‌ور قفسه خالی به دست می‌آید. سپس نمونه از قفسه نگه‌دارنده خارج شده و سطح خارجی آن با دستمال مرطوب طوری خشک می‌گردد که هیچ ذره‌ای از آن جدا نشود. باید دقت شود که فقط آب سطحی نمونه خشک گردد. از توزین نمونه در این حالت جرم اشباع با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری می‌شود (فهیمی فر و همکاران، ۱۳۸۰: ۵۶).

پس از توزین نمونه‌های خشک ( $M_0$ )، آن‌ها را درون مخزن بر روی قفسه به‌گونه‌ای قرار دهید که حداقل سطح تماس بین نمونه و پایه وجود داشته باشد. آب غیر یونیزه را به تدریج به درون ظرف بریزید تا زمانی که نمونه‌ها کاملاً در آب غوطه‌ور شده، و آب تا روی قفسه نگه‌دارنده نمونه‌ها بالا بیاید. حدود ۱ ساعت، ۸ ساعت و ۲۴ ساعت پس از شروع آزمون، پس از آن در فواصل زمانی ۲۴ ساعته، وزن نمونه‌ها را توزین نمایید. این عملیات را، تا زمانی که تغییرات وزن نمونه‌های اشباع از آب ( $M_t$ ) در سه توزین متوالی کمتر از ۰/۱٪ شود، تکرار می‌شود (BS EN, 2005).

پس از آخرین توزین هر نمونه، بلافاصله جرم ظاهری آن را با توزین نمونه در آب با استفاده از ترازوی هیدرو استاتیک تعیین نمایید ( $M_a$ ).

چگالی ظاهری ( $M_v$ ) برحسب گرم بر مترمکعب ( $g/m^3$ ) را با استفاده از معادله ۱ به دست آورید:

$$M_v = \frac{M_0 \times \rho_{H2O}}{M_t - M_a} \quad (1-3-5) \text{ معادله}$$

که در آن:

$M_0$  جرم نمونه توزین شده در هوای آزاد، برحسب (gf)؛

$M_t$  جرم نمونه غوطه‌ور در آب، برحسب (gf)؛

$M_a$  جرم نمونه غوطه‌ور در آب و توزین شده در آب، برحسب (gf)؛

$\rho_{H_2O}$  چگالی واقعی آب در شرایط دمایی انجام آزمون، برحسب ( $g/m^3$ ).

جذب آب (C) را برحسب درصد با استفاده از معادله (۲) به دست آورید:

$$C = \frac{100 \times (M_t - M_0)}{M_0} \quad (\text{معادله ۲-۳-۳})$$

که در آن:

C، جذب آب برحسب درصد؛

$M_0$  جرم نمونه توزین شده در هوای آزاد، برحسب gf؛

$M_t$  جرم نمونه غوطه‌ور در آب، برحسب gf؛

برای مستندسازی کامل‌تر جذب آب نمونه، مقدار آب جذب‌شده نسبت به ۱ ساعت، ۸ ساعت، ۲۴ ساعت، ۴۸ ساعت، ۷۲ ساعت و یا بیشتر را می‌توان به دست آورد. مقدار آب جذب‌شده ( $C_i$ ) برحسب درصد، در زمان کل ( $t_i$ ) را می‌توان با استفاده از معادله ۳ به دست آورد:

$$C_i = \frac{100 \times (M_t - M_0)}{M_0} \quad (\text{معادله ۳-۳-۳})$$

که در آن:

$C_i$ ، آب جذب‌شده برحسب درصد؛

$M_0$  جرم نمونه توزین شده در هوای آزاد، برحسب gf؛

$M_i$  جرم نمونه توزین شده در هوای آزاد پس از زمان  $t_i$  از جذب آب، برحسب gf؛

## ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به پیشرفت روزافزون کارگاه‌ها و آزمایشگاه‌های مرمت آثار فرهنگی و بناهای تاریخی در کشور، همچنین به دلیل عدم تجهیز بسیاری از این آزمایشگاه‌ها به دستگاه‌ها و تجهیزات موردنیاز به جهت هزینه‌های بالا می‌توان با در نظر گرفتن بسیاری از ایده‌های خلاقانه در جهت نوآوری و ساخت تجهیزات آزمایشگاهی و کارگاه‌ها گام برداشت. شاید اولین هدف و مهم‌ترین آن در دستیابی به این مهم را بتوان، صرفه‌ی اقتصادی آزمایشگاه‌ها دانست. ساخت ترازوی دیجیتالی آزمایشگاهی ساده با

مواد و ابزارهای در دسترس از جمله این موارد است. که همانند این مورد بسیاری از دستگاه‌های آزمایشگاهی دیگر دارای این چنین پتانسیلی برای افزایش ارتقاء و تبدیل به یک محصول دیگر رادارند. در ادامه توصیه می‌شود که برای ساخت این گونه دستگاه‌ها بهتر است از موادی که دارای مقاومت و از استاندارد کامل و مناسبی برخوردار هستند، استفاده شود.

ساخت و آزمایش دستگاه هیدرو استاتیک آزمایشگاهی نشان از عملکرد و کاربرد مناسب آن در تعیین خواص فیزیکی برای یک شی یا یک ماده معدنی اعم از تاریخی بودن یا نبودن آن (سفال، سنگ، بتن و غیره) و یا همچنین سایر مواد معدنی که در آزمایشگاه‌های مرمت و مواد و مصالح مطرح است را داراست. همچنین این دستگاه در راستای تخمین مقاومت‌های مورد انتظار مصالح و سنجش آن‌ها در شرایط مختلف زمانی در کنار بررسی تغییرات این خواص در شرایط هوازگی و به خصوص پیرسازی تسریعی که نتایجی مورد انتظار از عملکرد ماده در طول استفاده خواهد داشت، کاربرد خواهد داشت. به همین جهت نیاز است تا با به کارگیری و تجهیز نمودن آزمایشگاه‌های مرمت به این گونه تجهیزات و در ادامه با شناخت کاملی از عملکرد این دستگاه‌ها، قدم مثبتی در مطالعات مورد نظر برداشت.

### سپاسگزاری

بدین وسیله نگارندگان بر خود واجب می‌دانند از جناب آقایان حمید جابری رسولی به واسطه ساخت پایه شیشه‌ای، و جناب آقای محمدرضا شکوری تکنسنین محترم کارگاه حفاظت و مرمت سنگ و سفال دانشگاه هنر اسلامی تبریز جهت کمک در ساخت قفسه‌ی نگه‌دارنده نمونه سپاسگزاری نمایند.

### پی‌نوشت‌ها

<sup>1</sup>. Archimedes

<sup>۲</sup>. عموماً چگالی، دانسیته یا وزن مخصوص همگی واژه‌هایی معادل یکدیگر بیان می‌شوند و برابر نسبت جرم یک جسم به حجم آن جسم تعریف می‌شوند. اما بین چگالی و وزن مخصوص باید تفاوت قائل شد. چگالی مقدار جرم موجود در واحد حجم است، ولی وزن مخصوص به معنی وزن واحد حجم ماده است.

<sup>3</sup>.Hydrostatic Balance

<sup>4</sup>.Bilancetta

<sup>۵</sup>.فرق ترازوی ارشمیدس با بقیه ترازوها در این است که ترازوی ارشمیدس دارای زیرکش است یعنی توسط اهرمی که از زیر به ترازو متصل می‌گردد می‌توان قطعات را به ترازو آویزان نمود.

<sup>6</sup>.The two pan scales

<sup>7</sup>.The one pan scales

<sup>8</sup>.Spring balances

<sup>9</sup>.Direct reading scales

<sup>۱۰</sup>. برای مطالعه بیشتر رجوع شود به: (Vorwor1999)

## منابع

- سازمان ملی استاندارد ایران، (۱۳۷۱). سنگ مصنوعی، قسمت ۱: تعیین چگالی ظاهری و جذب آب، روش آزمون. چاپ اول.
- فهمی فر. احمد، سروش. حامد، (۱۳۸۰)، آزمایش‌های مکانیک سنگ: مبانی نظری و استانداردها. شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک. دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تفرش: جهاد دانشگاهی.
- BS EN 14617-1: (2005), Agglomerated stone, Test methods, Part 1: Determination of Apparent Density and Water Absorption.
- Estes, Betty Ruth. (1962). Section D, Social Sciences: The Hydrostatics of Archimedes. Proc, of
- The Okla, Acad. Of SCI. 188-190. Hanneman, W.Wm. (2005). Hydrostatic Balance. Specific Gravity. <http://www.gemologyproject.com>. Accessed 2016/01/26.
- Heath, T.L.Sc,D. (1897). The Works of Archimedes. Edited in Modern Notation: With Introductory Chapters. Cambridge University Press Warehouse, Ave Maria Lane.
- Hebert, L. (1836). The engineer's and mechanic's encyclopedia (Vol. 2). Kelly.
- Hydrostaticbalance (N.d). <http://catalogue.museogalileo.it/gallery/HydrostaticBalance.html>. Accessed 2016/01/26.
- N.A(2015) Determination of Bulk Density of Bituminous Mixtures by Hydrostatic Gravity Method. <http://www.mastest.com>. Accessed 2016/01/26.
- Rorres, Chris. (2004). Completing Book II of Archimedes's On Floating Bodies: The Mathematical Intelligencer. Volume 26, Number 3, Summer, Page 32-42.
- Sinkankas, John.(1986), contribution to a History of Gemology: Specific Gravity- Origins and Development of the Hydrostatic Method. Gemological Institute of America
- Sukhon, Rungsiya. Tulasombut, Veera. Laopornpichayanuwat, Wirun. Pangviwat, Tossaponand Monchai Mitaree. (2011). Measurement of the volumen and density of weight by hydrostatic weighing method. Siam Physics Congress, *Physics for all, all for physics* 23-26.
- Vorwor\_E.Doc. (1999), Manual of Weighing Applications. Part 1: Densit. Marketing, Weighing Technology February