

رساله چگالی سنجی ابوریحان بیرونی

ابوذر فرض پور ماحیانی^۱

رساله فی النسب التي بين الفلزات والجواهر فی الحجم اثری از بیرونی است که دلیل عمده شهرت آن خلاصه‌ای است که عبدالرحمان خازنی از این رساله در میزان الحکمة آورده است. خازنی سعی کرده است کلیه تلاش‌های دانشمندان پیش از خود را برای یافتن روش‌های تشخیص خلوص فلزات و تعیین مقدار یک فلز در جسمی مرکب از دو فلز جمع‌آوری کند. او روش‌های ارشمیدس، منلائوس، رازی، خیام و اسفزاری را توضیح داده و در مورد کار بیرونی در فی النسب اشاره‌ای کرده و بعضی از جدول‌های این مقاله را که حاوی نتایج آزمایش‌های بیرونی است، در کتاب خود آورده است. با استفاده از اعداد جدول‌های یادشده می‌توان چگالی نسبی بعضی فلزات و کانی‌ها را محاسبه کرد و با توجه به اینکه چگالی نسبی محاسبه‌شده توسط بیرونی بسیار به اعداد محاسبه‌شده امروزی نزدیک است، محققان تاریخ علم هدف بیرونی از انجام این آزمایش‌ها را محاسبه چگالی این مواد دانسته‌اند. اما در واقع این مسئله نتیجه فرعی آزمایش‌های بیرونی بوده و هدف اصلی او چیز دیگری است که در این مقاله بیان خواهد شد. برخی ریاضی‌دانان دوره اسلامی از جدول‌هایی که خازنی از نتایج بیرونی نقل کرده، استفاده دیگری کرده‌اند؛ در صورت داشتن چگالی یک جسم با شکل نامشخص و وزن آن، می‌توان حجم آن جسم یا نسبت حجم آن جسم به جسم دیگر را محاسبه کرد. ظاهراً اولین بار ابن‌خوام در فوائد البهائیه فی القواعد الحسابیه از این جدول‌ها به این منظور استفاده کرده و پس از او ریاضی‌دانان دیگر، از جمله کمال‌الدین فارسی در اساس القواعد فی اصول الفوائد، عمادالدین کاشانی در ایضاح المقاصد فی شرح اساس القواعد، که هر دو کتاب اخیر شرح کتاب ابن‌خوام هستند، جمشید کاشانی در مفتاح الحساب و محمدباقر یزدی در عیون الحساب این مسئله را تکرار کرده‌اند.

تنها نسخه یافت‌شده از فی النسب در دوره معاصر به شماره ۳۶۴/۶ در کتابخانه مدرسه ارتدوکس یونانی بیروت بوده که ظاهراً در جنگ‌های داخلی لبنان از بین رفته است. میکروفیلمی از

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تاریخ علم در پژوهشکده تاریخ علم دانشگاه تهران، afarzpourmachiani@yahoo.com

نسخه یادشده موجود است که به لطف پروفیسور هوخندایک به آن دسترسی یافتم و کار من روی فی النسب بر اساس نسخه مذکور با راهنمایی محمد باقری انجام شده است. نسخه‌های دیگری که با موضوع این رساله بیرونی تاکنون یافت شده‌اند همگی خلاصه‌ای از مطلبی هستند که خازنی از این رساله نقل کرده است.

بیرونی به صراحت به استفاده از آب رودخانه خوارزم برای انجام آزمایش‌های خود اشاره کرده و در مورد تفاوت وزن حجم ثابتی از آب در دماهای مختلف و وزن حجم ثابتی از آب‌های مختلف توضیح مختصری داده است. با توجه به این اشاره و در دسترس بودن جواهرات و فلزات مختلف در اندازه‌های گوناگون که بیرونی از آنها در انجام آزمایش‌های خود استفاده کرده، می‌توان حدس زد که زمان انجام این آزمایش‌ها پیش از ۴۰۸ ق، که سال فتح خوارزم توسط محمود غزنوی است، باشد. اشاره به نتایج این آزمایش‌ها در الجواهر فی الجواهر، که در سال‌های پایانی عمر بیرونی نوشته شده، نشان می‌دهد او نتایج این آزمایش‌ها را به همراه داشته است.

شرح موضوع

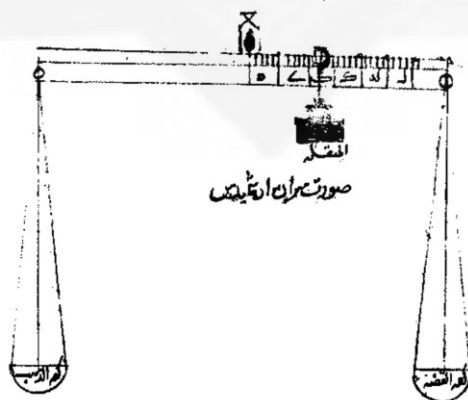
بیرونی در مورد اهمیت موضوع و تلاش‌هایی که برای یافتن مقدار هر فلز در جسمی مرکب از دو فلز توسط دانشمندان پیش از او انجام شده توضیح داده است. او به ترازوی ارشمیدس و رازی بدون شرح در مورد نحوه عملکرد آنها اشاره کرده و گفته که تلاش او برای استفاده از چنین ابزارهایی، علیرغم دقت کافی در ساخت و آزمایش، به نتیجه مورد نظر او نرسیده و نتایج دقت لازم را نداشته است. او اشاره بسیار مختصری به روش ریاضی متلائوس برای حل این مسئله کرده و در مورد اینکه برای استفاده از این روش نیاز به دانستن وزن اجسام هم‌حجم وجود دارد، توضیح داده است. به گفته او متلائوس می‌دانسته که ساخت قطعات هم‌حجم کار ساده‌ای نیست و خود روشی برای ساختن آنها ابداع کرده بود. بیرونی آن روش را کاربردی نمی‌داند. به گفته او از بین دانشمندان بعدی سند بن علی، یوحنا بن یوسف، احمد بن فضل بخاری و محمد بن زکریا رازی در مورد این مسئله رساله‌ای دارند ولی تنها احمد بن فضل به پیچیدگی ساخت قطعات هم‌حجم واقف بوده و روشی برای ساخت آنها عرضه کرده است. بیرونی از روش پیشنهادی احمد بن فضل استفاده کرده ولی آن را نیز کاربردی نمی‌داند. او سپس تلاش‌های خود برای ساخت قطعات هم‌حجم و روش‌های ابداعی خود را توضیح می‌دهد و می‌گوید هیچ‌کدام از این روش‌ها دارای دقت لازم نیستند و وزن قطعات هم‌حجم را به روش دیگری باید به دست آورد. در نهایت او ابزاری به نام آلت مخروطی شکل ابداع کرد که برای محاسبه وزن قطعات هم‌حجم توسط آن باید ابتدا آن را از آب پر کرده، سپس با قرار دادن قطعات کوچک فلزات خالص در آن، وزن مقدار آب خروجی از آن را سنجید. در وزن برابر برای آب خروجی، حجم قطعات فلز انداخته شده در ابزار با هم برابر است. بنابراین بیرونی توانست توسط آلت

مخروطی، داده‌های لازم را برای حل مسئله یافتن مقدار یک فلز در جسمی مرکب از دو فلز به روش ابداعی منلائوس بیابد و هدف او از نوشتن مقاله فی النسب یافتن این اعداد است. شرح ابزارهایی که بیرونی از آنها استفاده کرده، روش‌های ریخته‌گری و ساخت قطعات هم‌حجم استفاده شده توسط او، تجربیات منجر به ابداع آلت مخروطی شکل و اصلاح ساختار آن برای انجام آزمایش دقیق‌تر و نتایج آزمایش‌های او در ادامه مقاله توضیح داده خواهد شد.

ترازوی ارشمیدس

ممتی با عنوان فی ذکر میزان ارشمیدس والعمل بها به نقل از منلائوس در میزان الحکمة آورده شده است. این متن طرز ساخت و کاربرد ابزاری برای تعیین مقدار یک فلز در جسم مرکب از دو فلز است. این ابزار مربوط به داستان کشف راه حل مسئله تعیین خلوص تاج توسط ارشمیدس است که اولین بار ویتروویوس آن را نقل کرده است (ص ۲۵۳-۲۵۴). این داستان احتمالاً توسط نقل قول منلائوس به مسلمانان رسیده است (بیرونی: برگ ۱ پشت-۲ رو). در این متن ابزاری که برای محاسبه نسبت وزن مخصوص دو فلز ابداع شده معرفی می‌شود و در ادامه روش محاسبه نسبت ترکیب دو فلز در جسم مرکب توسط این ابزار توضیح داده می‌شود.

ترازوی ارشمیدس دو کفه ثابت و یک منقله دارد (شکل ۱). بعد از قراردادن دو قطعه هم‌وزن طلا و نقره در دو کفه ترازو، دو کفه در آب قرار می‌گیرند. کفه طلا در آب سنگین‌تر است. ترازو توسط منقله مجدداً تراز می‌شود. در مرحله بعد، جسمی را که می‌خواهیم خلوص آن را بسنجیم، هم‌وزن با طلا و نقره وزن شده و در کفه‌ای که طلا در آن بود قرار داده می‌شود. اگر عمود ترازو موازی افق ماند، جسم از طلای خالص است. اگر جسم از طلای خالص نباشد باید منقله به معلاق ترازو نزدیک شود تا عمود ترازو موازی افق شود. نسبت وزن طلا به وزن کل جسم برابر با نسبت فاصله منقله از معلاق در حالت دوم به حالت اول است.

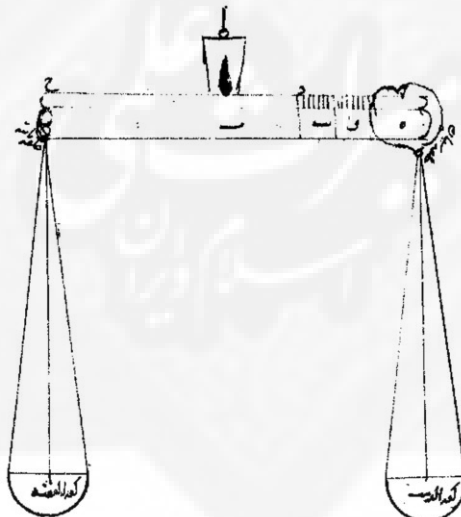


شکل ۱- تصویر ترازوی ارشمیدس (خازنی: گ ۳۶ پ)

ترازوی رازی

متنی با عنوان في الميزان الطبيعي والعمل به لمحمد بن زكريا الرازي در ميزان الحکمة آمده اما کتابی با این عنوان باقی نمانده و در فهرست آثار رازی هم نیامده است. چون بیرونی به طور صریح گفته که رازی رساله‌ای مستقل درباره این موضوع دارد (بیرونی: گ ۲) و خازنی نیز این کتاب رازی را جزو کتاب‌های دوازده‌گانه کیمیایی او می‌داند (بانسل، ص ۱۵۶) این احتمال وجود دارد که متنی که خازنی آورده خلاصه یا بخشی از کتاب المحن الذهب والفضة باشد.

نحوه کار ترازوی رازی با ترازوی ارشمیدس متفاوت است. این ترازو یک کفه ثابت و یک کفه متحرک دارد و عمود ترازو به جای منقله با جابجا کردن کفه تراز می‌شود (شکل ۲). فرق دیگر این ترازو با ترازوی ارشمیدس این است که به جای قرار دادن کفه آن در آب، آب در کفه ریخته شده و لبریز می‌شود. مراحل وزن کردن با این ترازو مانند ترازوی ارشمیدس است. مقدار طلا در جسم مرکب از نسبت فاصله کفه در دو حالت محاسبه می‌شود.



شکل ۲- تصویر ترازوی رازی (خازنی: برگ ۳۹ رو)

روش ریاضی منلائوس

در ميزان الحکمة دو متن با نام‌های في طرق مانالوس و في تفسير قول مانالوس الحکيم في أوزان الفلزات بالميزان المطلق الهوائي والمائي درباره روش منلائوس برای تعیین مقدار یک فلز در جسم مرکب آمده است.

شاید متن اول بخشی از رساله‌ای باشد که خلاصه آن با نام تلخیص مقالة مانالوس في تعرف الجواهر المختلفة از محمد بن هيثم باقی مانده است. بیرونی به اصل این رساله دسترسی داشته و

داستان کشف راه حل ارشمیدس برای پی بردن به خالص یا مرگب بودن تاج را به نقل از این رساله آورده است (بیرونی: گ ۱-پ ۲-ر).

«في طرق مانالاوس» شامل سه روش ریاضی برای حل مسئله است. روش اول به این صورت است:

اگر دو قطعه هم حجم از طلا و نقره داشته باشیم و قطعه ساخته شده دیگری که حجم آن برابر با هر قطعه ساخته شده از طلا و نقره باشد و بخواهیم مقدار طلا در مخلوط طلا و نقره را محاسبه کنیم، این مقدار از تناسب زیر به دست می آید:

$$\frac{\text{وزن جسم مخلوط}}{\text{وزن طلا در مخلوط طلا و نقره}} = \frac{(\text{وزن نقره}) - (\text{وزن طلا})}{(\text{وزن نقره هم حجم با جسم مخلوط}) - (\text{وزن جسم مخلوط})}$$

اگر جسم نقره‌ای هم حجم با جسم مخلوط نداشتیم، می‌توان وزن این جسم نقره‌ای را بدون ساختن آن محاسبه کرد: دو قطعه از جنس شمع یکی هم حجم با جسم مخلوط و دیگری هم حجم با جسم نقره‌ای می‌سازیم، وزن جسم نقره‌ای هم حجم با جسم مخلوط از نسبت وزن جسم شمعی هم حجم با جسم نقره‌ای به وزن جسم نقره‌ای و نسبت وزن جسم مخلوط به وزن جسم شمعی هم حجم با آن به دست می‌آید.

چنان‌که مشاهده می‌شود برای حل مسئله به این روش باید وزن قطعه‌ای از نقره را که هم حجم با جسم مخلوط است، داشته باشیم؛ یا این وزن را با استفاده از وزن قطعه‌ای هم حجم با جسم مخلوط از جنس شمع محاسبه کنیم. در هر دو حالت احتیاج به ساخت جسمی هم حجم با جسم مخلوط داریم.

شرح فی النسب التي بين الفلزات والجواهر فی الحجم:

در مقاله فی النسب بعد از نقل داستان کشف راه حل مسئله توسط ارشمیدس از قول منلائوس، بیرونی اشاره کرده است که یونانیان دیگری نیز روش‌هایی برای حل این مسئله داشته‌اند که او از آنها اطلاعی ندارد.

سپس گفته است که سند بن علی، یوحنا بن یوسف، احمد بن فضل بخاری و محمد بن زکریا رازی رساله‌هایی درباره این موضوع نوشته‌اند اما نکته‌ای وجود دارد که به غیر از احمد بن فضل بقیه به آن دقت نکرده‌اند و آن نکته، ساخت جسم خالص هم حجم با جسم مرگب است، البته منلائوس به سختی ساخت چنین قطعه‌ای آگاه بوده است.

بیرونی تصمیم گرفت که مسئله را از روش منلائئوس حل کند و برای این کار احتیاج به ساخت قطعات هم حجم وجود دارد که وزن آنها به عنوان اطلاعات اولیه برای حل مسئله به این روش لازم است. بیرونی در این مقاله اشاره کرده که ساخت قطعه‌ای هم حجم با قطعه دیگر کار ساده‌ای نیست و راه حل منلائئوس برای به دست آوردن وزن چنین قطعه‌ای با استفاده از شمع نیز پیچیدگی‌های خاص خود را دارد و وزنی که به این طریق محاسبه می‌شود دقت لازم را ندارد.

اوسپس روش احمد بن فضل را برای ساخت قطعات هم حجم معرفی می‌کند و وزن نه فلز هم حجم با ۲۴۰۰ تسو^۱ طلا را در جدولی می‌آورد. اما این روش را نیز دقیق نمی‌داند و تلاش او برای ابداع روشی دقیق‌تر منجر به ساخت ابزاری می‌شود که آن را آلت مخروطی شکل می‌نامد. نتایج حاصل از آزمایش با آلت مخروطی شکل و جدول‌هایی که برای مقایسه وزن و حجم فلزات با هم آورده شده‌اند به همراه توضیحاتی در مورد فلزاتی که آزمایش روی آنها انجام شده در ادامه رساله فی النسب آمده است.

پس از آن، بیرونی آزمایش‌ها را بر روی ده گونه جواهر مختلف نیز انجام داده و نتایج را در جدول‌هایی شبیه آنچه برای فلزات عرضه شده بود آورده است.

توضیحات و جدول‌های عرضه شده توسط بیرونی در فی النسب در زیر آمده است. به هم ریختگی‌هایی در ابتدای این رساله وجود دارد که در اینجا مرتب شده است. با توجه به اینکه ترجمه فارسی کهن باقی مانده از میزان الحکمه حاوی ترجمه بخش‌هایی از فی النسب است، هر جا ترجمه فارسی وجود داشته، در این مقاله از آن استفاده و مابقی را ترجمه کرده‌ام.

«از شش فلز طلا، نقره، رصاص (قلع)، مس، آهن و سرب مقداری برداشته و از کثیفی و غیر آن پاک می‌کنیم به صورتی که برای کسی در پاکی و یکنواختی آن شکی نماند. از بین این فلزات، آهن از همه دیرگدازتر است و می‌توان آن را به عنوان قالب انتخاب کرد. آن را اصل قرار داده و از آن جسمی به شکل عدس که وزن آن چهل مثقال باشد می‌سازیم و از آن قالب می‌سازیم. فضای داخلی قالب را از سایر فلزات ذوب شونده پر می‌کنیم. از صنعت ریخته‌گری بر ما پوشیده نیست که اگر فشار ماسه قالب یکنواخت نباشد، دو جسمی که توسط آن ساخته می‌شوند یکسان نیستند. برای قالب دو معجزه می‌گذاریم که از یکی مذاب وارد شده و از دیگری هوا خارج می‌شود. اما مشکلی پیش می‌آید که جلوی ادامه کار را می‌گیرد؛ طلا وقتی گرم است قالب را پر می‌کند، ولی وقتی سرد شد از بالا منقبض شده و ماسه قالب را جذب کرده و به قالب صدمه می‌زند. اگر

۱. تسو (معرب آن طسوج) به معنی ربع دانگ یا $\frac{1}{۲۴}$ واحد وزن (مثقال) است.

قطعه طلا را به همین صورت استفاده کنیم جواب آزمایش دقیق نخواهد بود و اگر فرورفتگی‌ها را با جنس خود فلز پرکنیم باز هم اطمینانی به نتایج آزمایش وجود ندارد زیرا این کار را انجام دادم، در حفرات مذاب ریختم و برجستگی‌ها را تراشیدم، و نتیجه آن به این صورت است (جدول ۱):

وزن فلزات وقتی وزن قالب آهنی چهل مثقال است			
نام فلزات	مثقال‌ها	دانگ‌ها	تسوها
زر	۹۰	۲	۰
سرب	۵۸	۲	۲
نقره	۴۸	۴	۰
مس	۴۲	۰	۰
برنج	۴۱	۳	۰
آهن	۴۰	۰	۰
رصاص	۳۷	۲	۲

جدول ۱- وزن فلزات هم حجم با چهل مثقال آهن که به روش احمد بن فضل محاسبه شده‌اند.

چنان‌که مشاهده می‌شود وقتی وزن آهن چهل مثقال باشد، وزن طلای هم حجم با آن نود و یک سوم^۱ مثقال است. بنابراین حجم آهن هم حجم با صد مثقال طلا را می‌توان محاسبه کرد. به همین روش می‌توان وزن فلزات دیگر وقتی حجم آنها برابر با حجم صد مثقال طلا باشد، محاسبه کرد. این مقادارها در جدول ۲ آمده‌اند:

وزن فلزات هم حجم با صد مثقال طلا			
نام فلزات	مثقال‌ها	دانگ‌ها	تسوها
زر	۱۰۰	۰	۰
سرب	۶۴	۴	۰
نقره	۵۳	۵	۱
مس	۴۶	۳	۰
برنج	۴۵	۵	۳
آهن	۴۴	۱	۳
رصاص	۴۳	۳	۳

جدول ۲- وزن فلزات هم حجم با صد مثقال طلا که به روش احمد بن فضل محاسبه شده‌اند.

۱. دو دانگ (در جدول) معادل یک سوم است.

این اعداد برای مثال و آموزش و آشکار کردن سبک و سنگینی به صورت تقریبی است. برای استفاده به آنها اعتماد نشود. به خدا سوگند فقط شرح کار با آنها را گفته‌ام.»

بیرونی می‌گوید روش احمد بن فضل برای ساخت قطعات هم‌حجم دقیق نیست. او سعی می‌کند تا روش دقیقی برای ساخت چنین قطعاتی عرضه کند. اقدامات بیرونی برای یافتن روش ساخت قطعات هم‌حجم در فی‌النسب توضیح داده شده است. ترجمه این بخش از فی‌النسب در زیر آمده است:

«از این روش صرف‌نظر کردم. قالب دیگری به این صورت ساختم که دو صفحه فولادی را به فاصله قطر یک انگشت از هم توسط دو استوانه فولادی نگه داشته و با رشته‌های باریک فلزی به هم سفت کردم تا مذاب را داخل آن بریزم. این روش هم خوب نبود.

سپس دستور دادم روی سطح سندان فولادی را به شکل نیم‌کره کنند و هرکدام از مذاب‌ها را کمی بیشتر در آن ریخته و کوبیدم. با سوهان اضافه آن را ساییدم و سطح آن را با خط‌کش واریسی کردم. سعی من این بود که روشی بیابم که نتیجه آن با تکرار مشابه نتیجه قبل باشد.

سپس به آب و ترازوی دقیقی با دو کفه مقعر که با سه زنجیر که در یک نقطه با رشته‌ای در محل آویزان شدن جمع شده‌اند روی آوردم. برای دقت تعادل این ترازو و موازی ماندن آن در هوا و آب در حالتی که خالی یا با ثقل‌های برابر و از یک جنس پر بود تلاش کردم. سعی کردم که با آن مقدار تفاوت وزن هر فلز در هوا و آب را بفهمم. اما دلم با این ترازو آرام نگرفت زیرا نتایج آن دقیق نبود.

ابزارهایی یکی پس از دیگری ساختم و آنچه در ابتدا مزاحم من بود رفع کردم.»

چنان‌که مشخص است بیرونی از نتایج حاصل از ساخت قطعات با قالب‌های ابداعی خود نیز راضی نبوده است. همچنین واضح است که او ترازوی ارشمیدس را نیز امتحان کرده و آن را دقیق نمی‌داند.

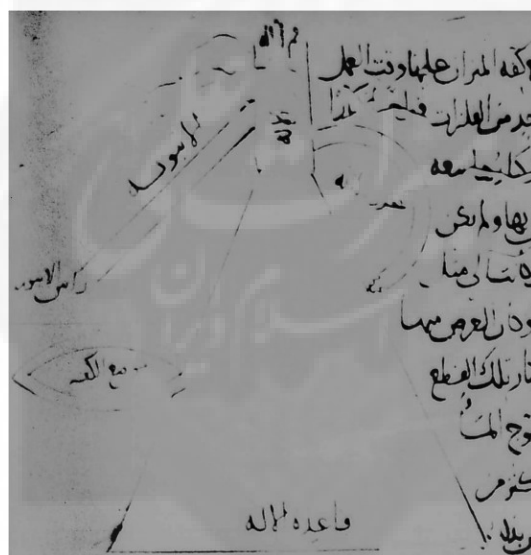
پس از این مراحل بیرونی نحوه ساخت و روش کار با آلت مخروطی‌شکل را به شرح زیر توضیح داده است:

«آلتی ساختم مخروط یعنی زیر فراخ و پهن و سر تنگ بر شکل طبرزد^۱ و چنان کردم که گردنی کشیده داشت و میان تن آلت و گردنش هیچ شکن و زاویه‌ای نبود و بر شکل پشت قوسی از دایره بود و در گردنش سوراخی و لوله‌ای خمیده در آن سوراخ نشاند و آن جانب که بر بالا بود از او لوله شکافته بود، شکافی باریک بر شکل ناودانی تا چون آلت را پر از آب بکنند و مقدار معلوم فلزی یا

۱. نوعی خرما

جوهری به میان آب فروگذارند آن قدر که جای آب بگیرد، آب به بالا برآید و از ناودان بیرون آید و در پله ترازو رود.»

«سپس فلزات را به قطعات بزرگ و کوچک قطعه قطعه کردم به صورتی که قطعات بزرگ از پهنای گلوی آلت بزرگتر نباشد که توسط آن گرفته شود. برای اندازه قطعات کوچک محدودیتی نبود و اندازه گاورس^۱ بودند. هدف از آن این بود که قطعات بزرگ را در دهانه آلت بیندازم زیرا آنها باعث ایجاد موج در آب می شوند و آن را با نیرویی بیشتر از آنچه لازم است بالا می برند. ناامید نشدم و کار را به این روش اصلاح کردم که قطعات کوچک را با میله قلاب دار طوری در آب انداختم که سطح آب هیچ حرکت مشهودی نداشت. مشخص است که سطح آب بر حسب آنچه در آن انداخته می شود بالا می آید و در لوله به اندازه حجمی که وارد شده بود، جریان می یابد و بقیه آن در آلت به همان حال باقی می ماند. شکل آلت به این صورت است:



شکل ۳- آلت مخروطی شکل در نسخه شماره ۳۶۴/۶ مدرسه ارتدوکس یونانی بیروت

پایین ظرف پهن است تا تعداد زیادی از آنچه در آن انداخته می شود در خود جای دهد. اگر به اندازه گردن آن باریک باشد، شکل لوله می شود که کار کردن با آن را در روی زمین سخت می کند و احتمال افتادن و به هم خوردن آن زیاد است. چون شرط آن که گنجایش بیشتری داشته باشد الزامی است، پهنای آن را به میزانی که ارتفاعش کم می شود اضافه می کنیم. سپس بین بدنه و گردن آن

۱. ارزن

زاویه‌ای مثل زاویه بازو قرار نمی‌دهم بلکه خمی یکنواخت مانند قوسی برعکس ساختم تا خروج آن‌چه در آن است راحت باشد و چیزی در ظرف نباشد که آب به آن بچسبد. گردن آن را باریک ساختم زیرا سطح آب در جاهای باریک با اضافه کردن کوچک‌ترین چیزی بالا می‌رود و این در جای پهن اتفاق نمی‌افتد و این واضح است. اگر دهانه آلت یک وجب در یک وجب بود با انداختن چیزی به اندازه یک نخود در آن ارتفاع آب آن قدر بالا نمی‌آمد که سرریز کند. و چون پهنای آن را به اندازه انگشت کوچک گرفتیم، با انداختن چیزی به اندازه گاورس هم سطح آب بالا می‌رود و اگر کار را دشوار نمی‌کرد آن را باریک‌تر می‌ساختم. و اگر این کار را برای سوراخ و لوله می‌کردم، بعد از ریختن آب روی کفه ترازو لوله همچنان پر از آبی که در آن بود باقی می‌ماند و گاهی بعد از پایان کار چکه می‌کرد. با سوراخ‌های متعدد در بالای لوله بین هوا و آن آب ارتباط برقرار کردم. آن هم ناقص بود و آب به صورت یکباره و کامل خارج نمی‌شد. تا این که آن قسمت از لوله را که سوراخ‌های متعدد در امتداد هم داشت شکافتم که به صورت ناودانی شد که مقطع آن از نیم‌دایره کوچک‌تر بود در این هنگام جریان آب به صورت پیوسته در آن حرکت می‌کرد و به غیر از رطوبتی که ناگزیر است چیزی در آن باقی نمی‌ماند.»

روش کار با این ابزار چنین است که قطعات کوچک طلا را که وزن آنها روی هم ۲۴۰۰ تسو است در داخل آلت مخروطی شکلی که پر از آب است انداخته و وزن آب خارج شده از ظرف را اندازه می‌گیرند. سپس قطعات کوچکی از فلزات دیگر را به مقداری در ظرف می‌اندازند که وزن آب خروجی از ظرف برابر با وزن آب خارج شده از ظرف برای ۲۴۰۰ تسو طلا باشد. به این صورت از برابر بودن حجم فلزات با هم مطمئن می‌شود. سپس قطعات فلز را از ظرف بیرون آورده، خشک کرده و وزن می‌کند.

نسبت حجم فلزات هم‌وزن را می‌توان از مقایسه وزن آب خارج شده از این ابزار وقتی صد مثقال از هر فلزی داخل آن انداخته شود به دست آورد. وزن آب خارج شده از ظرف توسط صد مثقال از فلزات مختلف در جدول ۳ آمده است:

نام فلزات	مجموع تسوها
زر	۱۲۶
زینق ^۱	۱۷۷
سرب	۲۱۲
نقره	۲۳۳

۱. جیوه

۲۷۲	سپیدرو
۲۷۶	مس
۲۸۰	برنج
۳۱۰	آهن
۳۲۸	رصاص

جدول ۳- وزن آب هم حجم با صد مثقال از هر فلز

وزن فلزات نه گانه آزمایش شده توسط بیرونی وقتی حجمی برابر با حجم ۲۴۰۰ تسو طلا دارند در جدول ۴ آمده است.

نام فلزات	تسوهای وزن فلزات
زر	۲۴۰۰
زیبق	۱۷۰۴
سرب	۱۴۴۳
نقره	۱۳۰۸
سپیدرو	۱۱۱۹
مس	۱۰۸۲
برنج	۱۰۷۷
آهن	۹۹۳
رصاص	۹۲۱

جدول ۴- وزن فلزات هم حجم با صد مثقال طلا که از آزمایش به دست آمده اند.

نسبت وزن هر فلز به وزن آب خارج شده توسط آن یا به عبارتی نسبت وزن هر فلز به وزن آب هم حجم با آن فلز را می توان از جدول ۳ به دست آورد. این مقدار با تقسیم وزن فلز که در آزمایش برابر با صد مثقال بود بر عدد گزارش شده در جدول ۳ به دست می آید. برای راحت تر شدن انجام این محاسبه، ابوریحان جدول ۵ را عرضه کرده که حاصل حذف عامل مشترک بین این دو عدد است.

جدول کاهش اعداد به روش وفق			
نام فلزات	تسوهای وزن فلزات	تسوهای وزن آب هر فلز	عدد مشترک بین وزن فلز و وزن آب آن
زر	۴۰۰	۲۱	۶
زیبق	۸۰۰	۵۹	۳
سرب	۶۰۰	۵۳	۴
نقره	۲۴۰۰	۲۳۳	متباین

سپیدرو	۱۵۰	۱۹	۱۶
مس	۲۴۰۰	۲۷۷	متباین
برنج	۶۰	۷	۴۰
آهن	۲۴۰	۳۱	۱۰
رصاص	۳۰۰	۴۱	۸

جدول ۵- اعداد حاصل از حذف عامل مشترک بین وزن صدمثقال فلز و وزن آب خارج شده توسط آن فلز
با توجه به اعداد جدول های ۳ و ۴ می توان نسبت وزن فلزات هم حجم و نسبت حجم فلزات
هم وزن را محاسبه کرد. این نسبت ها در چهار جدول ۶، ۷، ۸ و ۹ عرضه شده است.

زر								
جیوه	۱/۴۰	جیوه						
سرب	*۱/۶۸	۱/۲۰	سرب					
نقره	۱/۸۵	۱/۳۲	۱/۱۰	نقره				
سپیدرو	۲/۱۶	۱/۵۴	۱/۲۸	۱/۱۷	سپیدرو			
مس	۲/۱۹	۱/۵۶	۱/۳۰	۱/۱۸	۱/۰۱	مس		
برنج	۲/۲۲	۱/۵۸	*۱/۳۲	۱/۲۰	۱/۰۳	۱/۰۱	برنج	
آهن	۲/۴۶	۱/۷۵	۱/۴۶	۱/۳۳	۱/۱۴	**۱/۱۲	**۱/۱۱	آهن
رصاص	**۲/۶۰	۱/۸۵	۱/۵۵	*۱/۴۱	**۱/۲۱	**۱/۱۹	**۱/۱۷	**۱/۰۶

جدول ۶- نسبت وزن فلز چگال تر به فلز با چگالی کمتر در حجم برابر

رصاص								
آهن	*۰/۹۵	آهن						
برنج	۰/۸۵	۰/۹۰	برنج					
مس	۰/۸۵	۰/۸۹	**۰/۹۹	مس				
سپیدرو	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۹۹	سپیدرو			
نقره	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۶	نقره		
سرب	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۹۱	سرب	
جیوه	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۸۳	جیوه
زر	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۴۶	*۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۷۱

جدول ۷- نسبت وزن فلز با چگالی کمتر به فلز چگال تر در حجم برابر

(اعدادی که با * علامت زده شده اند در نسخه موجود اشتباه نوشته شده و آن هایی که علامت
* دارند در نسخه قابل خواندن نیستند.)

							زر	
							جیوه	۰/۷۱
						سرب	۰/۸۳	۰/۵۹
					نقره	۰/۹۱	۰/۷۶	۰/۵۴
				سپیدرو	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۶۵	۰/۴۶
			مس	**۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۶۴	۰/۴۶
		برنج	**۰/۹۹	**۰/۹۷	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۴۵
آهن	**۰/۹۰	**۰/۸۹	**۰/۸۸	۰/۷۵	۰/۶۸	۰/۵۷	۰/۴۱	۰/۴۱
رصاص	**۰/۹۵	**۰/۸۵	**۰/۸۴	**۰/۸۳	**۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۵۴	۰/۳۸

جدول ۸- نسبت حجم فلز با چگالی کم تر به فلز چگال تر در وزن برابر

(اعدادی که با علامت ** مشخص شده اند در نسخه قابل خواندن نیستند.)

							رصاص	
						آهن	۱/۰۶	آهن
					برنج	۱/۱۱	۱/۱۷	برنج
			مس	۱/۰۱	۱/۱۲	۱/۱۸	۱/۲۱	مس
		سپیدرو	*۱/۰۲	۱/۰۳	۱/۱۴	۱/۲۱	*۱/۴۱	نقره
		نقره	۱/۱۷	۱/۱۹	۱/۲۰	۱/۳۳	*۱/۴۱	نقره
		سرب	۱/۱۰	۱/۲۸	۱/۳۱	۱/۳۲	۱/۴۶	سرب
	جیوه	۱/۲۰	۱/۳۲	۱/۵۴	۱/۵۷	۱/۵۸	۱/۷۵	*۱/۸۵
۱/۴۰	۱/۶۸	*۱/۸۵	۲/۱۶	*۲/۱۹	۲/۲۲	۲/۴۶	۲/۶۰	زر

جدول ۹- نسبت حجم فلز چگال تر به فلز با چگالی کم تر در وزن برابر

(اعدادی که با * علامت زده شده اند در نسخه موجود اشتباه نوشته شده اند.)

بیرونی پس از به دست آوردن اطلاعاتی که برای حل مسئله از روش منلائوس لازم داشت به وسیله ابزاری که ابداع کرده، به این نتیجه رسیده که از این ابزار و نتایج حاصل از آزمایش با آن می توان برای پی بردن به اصالت جواهر و فلزات نیز استفاده کرد و به همین دلیل آزمایش ها و محاسبات خود را برای جواهر نیز انجام داده است.

بیرونی آزمایش فوق را برای جواهر هم انجام می دهد و دلیل آن را به این صورت توضیح می دهد:

علمی که ما شروع به بررسی پایه های آن کردیم و هم خود را برای ساختن ابزار به منظور آماده کردن مقدمات آن گذاشتیم، برای شناخت ناخالصی های نامطلوب در

سکه‌ها و اجسام ریخته‌گری شده، همانطور که در ابتدای کتاب منلائوس توضیح داده شده، است. و این به آن دلیل است که دست جعل و تقلب چنان‌که به فلزات رسیده، به سنگ‌های قیمتی هم رسیده است و حتی بیشتر از فلزات. زیرا چشم مردم به سنگ‌های قیمتی کمتر عادت کرده و از انتخاب درست آنها ناتوان است. هیچ کس در هیچ کشوری نیست که درهم ندیده باشد و بدون استفاده از آن داد و ستد کند. به همین دلیل وظیفه خود می‌دانیم که راه شناخت سنگ‌های قیمتی را همانطور که برای فلزات انجام دادیم هموار کنیم. شاید تاجی باشد که با چیزهایی تزئین شده که معلوم نیست قیمتی هستند یا چیز دیگری مثلاً شیشه. یا تاجی از مروارید باشد که باید از مروارید بودن آن مطمئن شد. من تا حد امکان در این خصوص صحبت خواهم کرد. در خصوص سنگ‌های قیمتی نباید در یکنواخت بودن آنها به اندازه فلزات گداختنی مطمئن بود زیرا فلزات گداختنی قابلیت کوبیده شدن دارند که باعث می‌شود هوای داخل آنها خارج شود.

پس از این مقدمه، بیرونی آزمایش‌های خود را برای جواهر مختلف تکرار کرده و نتایج آنها را در جدول‌هایی که در ادامه توضیح داده می‌شود آورده است. در این بخش بیرونی یاقوت آسمان‌گون را به عنوان گوهر معیار انتخاب کرده است. وزن آب هم حجم با صد مثقال از هر جواهر در جدول ۱۰ آمده است.

نام جواهر	مجموع تسوهای هر آبی
یاقوت آسمان‌گون	۶۰۶
یاقوت سرخ	۶۲۴
لعل بدخشی	۶۷۰
زمرد	۸۷۲
لاژورد	۸۹۲
لؤلؤ	۹۲۴
عقیق	۹۳۶
بسد	۹۳۹
جزع و بلور	۹۶۰
آبگینه فرعونی	۹۶۴

جدول ۱۰- وزن آب هم حجم با صد مثقال از هر کدام از جواهر

وزن جواهر هم حجم با صد مثقال یاقوت آسمان گون که از روش محاسبه به دست آمده اند در جدول ۱۱ آمده است.

نام جواهر	مجموع تسوهای هر وزنی
یاقوت آسمان گون	۲۴۰۰
یاقوت سرخ	۲۳۳۱
لعل بدخشی	۲۱۷۱
زمرد	۱۶۶۸
لاژورد	۱۶۳۰
لؤلؤ	۱۵۷۴
عقیق	۱۵۵۴
بسد	۱۵۴۹
جزع و بلور	۱۵۱۵
آبگینه فرعونی	۱۵۰۹

جدول ۱۱- وزن جواهر هم حجم با صد مثقال یاقوت آسمان گون

نسبت وزن هر گوهر به وزن آب خارج شده توسط آن یا به عبارتی نسبت وزن گوهر به وزن آب هم حجم با آن‌ها را می‌توان از جدول ۱۰ به دست آورد. این مقدار با تقسیم وزن گوهر که در آزمایش برابر با صد مثقال بود بر عدد گزارش شده در جدول ۱۰ به دست می‌آید. بیرونی همان‌طور که برای راحت‌تر شدن انجام این محاسبه برای فلزات جدولی عرضه کرده بود، جدول ۱۲ را نیز برای جواهر عرضه کرده است.

جدول نسبت وزن جواهر به وزن آبی که توسط آن‌ها سرازیر می‌شود			
نام جواهر	نسبت جواهر	به آب آن	وفقی
یاقوت آسمان گون	۴۰۰	۱۰۱	۶
یاقوت سرخ	۵۰	۱۳	۴۸
لعل بدخشی	۲۴۰	۶۷	۱۰
زمرد	۳۰۰	۱۰۹	۸
لاژورد	۶۰۰	۲۲۳	۴
لؤلؤ	۲۰۰	۷۷	۱۲
عقیق	۱۰۰	۳۹	۲۴
بسد	۸۰۰	۳۱۳	۳

جزع و بلور	۵	۲	۴۸۰
آبگینه فرعونى	۶۰۰	۲۴۱	۴

جدول ۱۲: اعداد حاصل از حذف عامل مشترک بین وزن صد مثقال گوهر و وزن آب خارج شده توسط آن گوهر

جمع بندى و نتیجه گیرى

بیرونى در مقاله فی النسب تلاش های خود برای یافتن روشی که بتوان با آن وزن قطعات هم حجم فلزات را محاسبه کرد، توضیح داده است. تلاش های او منجر به ابداع ابزاری که او آلت مخروطی شکل می نامد شد. با استفاده از اعدادی که او در مقاله فی النسب عرضه کرده می توان مقدار یک فلز را در جسمی مرکب از دو فلز به روش ریاضی منلائوس یافت. او سپس به این نتیجه رسیده که با استفاده از این ابزار، می توان جواهر اصل را از بدل تشخیص داد و آزمایش های خود را برای بعضی جواهر تکرار کرده است. با توجه به در دسترس نبودن این رساله، و اینکه که تنها نسخه شناخته شده از آن در قرن بیستم از بین رفته، منبع آشنایی محققان تاریخ علم با آن، خلاصه ای است که خازنی نقل کرده و هدف بیرونی از انجام آزمایش های که در این رساله آمده به علت خلاصه نویسی و به هم ریختگی شرح ابتدای رساله، که به میزان الحکمه نیز منتقل شده، در ابهام باقی مانده است. البته نتایجی که با دقت بیرونی در انجام آزمایش ها باعث شده اعداد عرضه شده توسط او در جدول های این رساله بسیار به چگالی نسبی محاسبه شده امروزی این فلزات نزدیک باشد، عامل دیگری بوده که این رساله به عنوان رساله چگالی سنجی بیرونی معروف شود و هدف او محاسبه چگالی یا وزن مخصوص عناصر معرفی شود.

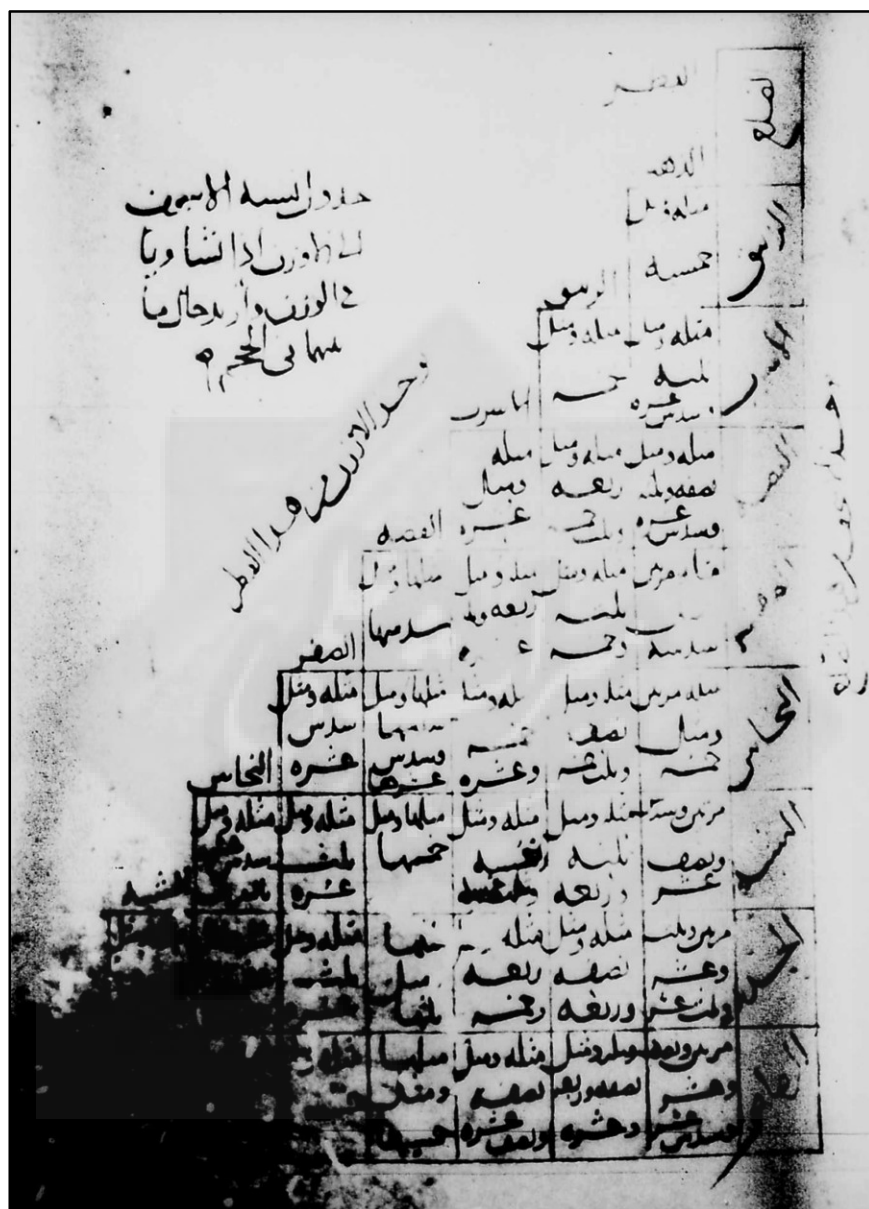
منابع

بیرونی، ابوریحان، فی النسب التي بین الفلزات والجواهر فی الحجم، نسخه خطی شماره ۳۶۴/۶، مدرسه ارتودوکس یونانی بیروت.

خازنی، ابوالفتح عبدالرحمن، میزان الحکمه، نسخه خطی شماره ۳۴۴۴، کتابخانه ملی تبریز.

Bancel, F. L., *KITĀB MĪZĀN AL-ḤIKMA*, Academie Tunisienne des sciences, 2008.

Vitruvius, *The Ten Books on Architecture*, translation: Morris Hicky Morgan, Harvard University Press, 1914.



تصویر گ ۱۲ از نسخه خطی شماره ۳۶۴/۶ مدرسه ارتدوکس یونانی بیروت