تاریخ علم، دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸، ص۱۸۷ ـ ۲۱۴

معرفی رسالهٔ في الآلات العجیبة اثر عبدالرحمن خازنی

رضا کیانی موحد
کارشناس ارشد تاریخ علم، پژوهشکدهٔ تاریخ علم دانشگاه تهران
kiani.reza@ut.ac.ir
(دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۸)

چکیده

منجمان دست‌کم از سدهٔ نخست قبل از میلاد از ابزارهایی برای رصد اجرام آسمانی استفاده می‌کردند. ابزارهای این دوره عمدتاً برای تعیین زاویهٔ میان دایرةالبروج و معدل‌النهار و تعیین لحظهٔ ورود خورشید به اعتدالین استفاده می‌شدند. بطلمیوس از ابزارهایی مانند ذات الحلق، ذات الثقبتین و ذات الشعبتین نام برده است. در دورهٔ اسلامی و ضمن انجام رصدهایی برای تدقیق گزارش‌های بطلمیوس، گزارش‌هایی از ساخت ابزارهای نجومی نو نیز به‌دست ما رسیده است، هرچند که بیشتر رساله‌های نوشته شده توسط مسلمانان مربوط به روش‌های ساخت و به‌کار بردن انواع گوناگون اسطرلاب هستند. رسالهٔ في الآلات العجیبة، اثر عبدالرحمن خازنی، رسالهٔ کوچکی است که خازنی در آن به تشریح هفت ابزار رصدی مورد استفاده در زمان خویش پرداخته و روش‌های استفاده از آنها را آورده است و محاسباتی را که باید روی نتایج حاصل از این ابزارها انجام بشود، به صورت مدون و مشروح آورده است. در حال حاضر چهار نسخهٔ خطی شناخته شده از این رساله در کتابخانه های مجلس شورای اسلامی، مدرسهٔ سپهسالار، مغنیسه و دانشگاه استانبول وجود دارند. مقالهٔ پیش رو ضمن معرفی رسالهٔ مذکور، محتوای علمی آن را مورد بررسی قرار می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: ابزارهای رصدی، ذات الثقبتین، ذات الشعبتین، عبدالرحمن خازنی، مجسطی، نجوم دورهٔ اسلامی.

مقدمه

می‌توان رصدخانه را نهادی علمی دانست که محصول ورود نجوم به تمدن اسلامی است. در نجوم دورهٔ یونانی و یونانی مآبی منجمان بیشتر بر فعالیت‌های فردی تکیه داشتند و اطلاعات مورد نیاز خود را از ابزارهای رصدی نسبتاً ساده به‌دست می‌آوردند. با ورود نجوم به جهان اسلام، جنبه‌های عملی آن مورد توجه ویژه قرار گرفت. مواردی مانند تعیین قبله، ناوبری، تعیین اوقات شرعی و تنظیم تقویم از اهمیت خاصی در این دوره برخوردار بودند. پس از مدتی، با آنکه منجمان مسلمان هستهٔ نظری نجوم یونانی را دست نخورده نگه داشتند، تغییراتی در روش‌های عملی یونانیان دادند. اول اینکه مسلمانان تحقیقات نجومی را از یک فعالیت فردی به یک کار گروهی بدل کردند که اغلب تعداد زیادی منجم و ریاضی‌دان را مشغول می‌کرد. عموماً این گونه فعالیت‌ها توسط خلفا، شاهان و امرا سازماندهی می‌شد و اطلاعات به‌دست آمده از چنین فعالیت هایی به‌منظور اصلاح تقویم و موارد مشابه به‌کار گرفته می‌شد. گاهی نیز فعالیت‌های گروهی نجومی به‌طور مستقل توسط خود منجمان انجام می‌شد. به‌عنوان نمونه ای از مورد اول می‌توان به اندازه‌گیری شعاع زمین در دورهٔ مأمون (بیرونی، ص۱۸۶) و به عنوان نمونه‌ای از مورد دوم می‌توان به رصد هم‌زمان ماه گرفتگی توسط بیرونی و بوزجانی برای به‌دست آوردن اختلاف طول جغرافیایی بغداد و مرو اشاره کرد (بیرونی، ص۲۱۸).

دومین تفاوت مسلمانان با پیشینیانشان در رویکرد به نجوم در حوزهٔ ساخت ابزارهای رصدی بود. مسلمانان ساخت ابزارهای رصدی را از یونانی‌ها فراگرفتند اما با توجه به این نکته که دانش نجوم با ابعاد بزرگ و در نتیجه زوایای بسیار کوچک، سر وکار دارد؛ شروع به ساختن ابزارهای بزرگی کردند که بتوانند با آنها زوایای کوچک را با دقت بیشتری اندازه‌گیری کنند. ساخت چنین ابزارهایی نیاز به سرمایه، نیروی کار، مصالح و مقدماتی داشت که تهیه و تأمین آنها از عهدهٔ یک شخص و یا حتی یک گروه از دانشمندان خارج بود. به همین دلیل ساختن چنین تجهیزاتی نیازمند کمک‌های مستقیم و غیرمستقیم شاهان، امرا و اشراف بود (صایلی،[1] ص۱۲۱). بدین ترتیب هستهٔ اولیهٔ رصدخانه‌های دورهٔ اسلامی شکل گرفت.

1. Saili, Aidin

با توجه به دو مورد بالا، منجمان مسلمان در طی چندین قرن داده‌های رصدی بسیاری گردآوری کردند. بیشتر نتایج این رصدها در زیج‌های به‌جا مانده از دورهٔ اسلامی باقی مانده‌اند. سنت زیج‌نویسی را می‌توان در ادامهٔ سنت نجوم یونان، هند و ایران دانست (کینگ، ص۱۵۱). در زیج‌ها اطلاعاتی برای محاسبهٔ موقعیت ستارگان و سیارات، پیش‌بینی گرفت‌های ماه و خورشید، پیش‌بینی مقابله‌ها و مقارنه‌ها، سالنامهٔ اقوام مختلف، جداولی از توابع مثلثاتی و مطالبی از این دست می‌آمدند (همان‌جا).

هر چند از مجموع رساله‌ها و کتاب‌های باقی‌مانده از سنت نجومی دورهٔ اسلامی می توان تصویر نسبتاً خوبی از دانش نجومی مسلمانان به‌دست آورد اما رساله‌هایی که در آنها روش ساخت ابزار رصدی به‌تفصیل نوشته شده باشد -به جز رساله‌هایی که در بارهٔ روش کار با اسطرلاب نوشته شده‌اند که تعداد آنها نیز قابل توجه است- اندک هستند. احتمالاً مشهورترینِ این رساله‌ها، رسالهٔ في كيفية الإرصاد نوشتهٔ مؤیدالدین عُرضی (درگذشته در ۶۶۴ق) است که در بارهٔ روش ساخت ابزار به‌کار رفته در رصدخانهٔ مراغه نوشته شده است.

رسالهٔ في الآلات العجيبة نوشتهٔ عبدالرحمن خازنی (شهرت در سدهٔ ششم هجری)، شاید از معدود نوشته‌هایی است که انواع گوناگونی از ابزارهای رصدی در آن معرفی شده‌اند و در بارهٔ روش کار با آنها توضیح داده شده است. این رساله می‌تواند تا حدودی خلأ اطلاعاتی ما را در بارهٔ ابزارهای رصدی در دورهٔ اسلامی تا پیش از تألیف رسالهٔ عُرضی پرکند. در این رساله روش ساخت یا استفاده از هفت ابزار رصدی تشریح شده است که به ترتیب عبارتند از: ذات الشعبتین، ذات الثقبتین، ذات المثلث، ربع، آینه، اسطرلاب و ابزارهای سادهٔ کاربردی.[1] در اینجا ضمن معرفی نسخه‌های موجود از این رساله، فصل‌های آن را، به جز فصل اسطرلاب که رساله‌های مشابه بسیاری در بارهٔ آن وجود دارد، بررسی خواهیم کرد.

نسخه‌های موجود از رسالهٔ في الآلات العجيبة

رسالهٔ في الآلات العجيبة خازنی،بر خلاف کتاب میزان الحکمة او که بسیار مشهور است، اثر چندان شناخته شده‌ای نیست و نسخه‌های متعددی نیز از آن وجود ندارد. فؤاد سزگین پیش‌تر در مقدمهٔ چاپ تصویری مجموعهٔ AY-314 کتابخانهٔ دانشگاه استانبول

۱. أشياء سهلة الوجود

که این نسخه نیز از نسخه‌های موجود در آن مجموعه است، نسخهٔ آن را منحصر به فرد دانسته بود اما تا به امروز سه نسخهٔ دیگر از این رساله شناسایی شده است که عبارتند از:

۱. نسخهٔ شمارهٔ AY-314 کتابخانهٔ دانشگاه استانبول که در شمارهٔ ۶۶ از مجموعهٔ منشورات چاپ تصویری مؤسسهٔ مطالعات اسلامی فرانکفورت منتشر شده است (نک : منابع، خازنی، ۲۰۰۱م).

۲. نسخهٔ شمارهٔ ۶۴۱۲/۲ کتابخانهٔ مجلس شورای اسلامی. تصویر این نسخه با شمارهٔ ۴۶۱۸/۳-ف در کتابخانهٔ دانشگاه تهران موجود است (درایتی، ص۲۳۵-۲۳۶).

۳. نسخهٔ شمارهٔ ۶۸۱/۱ کتابخانهٔ مدرسهٔ سپهسالار (دانشگاه شهید مطهری) که تصویر این نسخه نیز با شمارهٔ ۳۲۲۸-ف در کتابخانهٔ دانشگاه تهران موجود است (درایتی، ص۲۳۵).

۴. نسخهٔ کتابخانهٔ مغنیسه به شمارهٔ ثبت ۶۵۹۱/۴.[۱]

ساختار رساله

رسالهٔ في الآلات العجيبة با یک خطبهٔ کوتاه آغاز می‌شود و مشتمل بر هفت مقالهٔ اصلی و یک ضمیمه است. خازنی در چهار مقالهٔ ابتدایی به معرفی ابزار رصدی، روش ساخت و استفاده از آنها پرداخته است و در سه مقالهٔ پایانی به شرح روش‌هایی برای به‌دست آوردن فاصله و ارتفاع و جز آن از طریق به‌کار بردن اسطرلاب، آینه و برخی ابزارهای سادهٔ دیگر پرداخته است. چهار مقالهٔ اول رساله هر یک به سه قسمت تقسیم می‌شوند. در قسمت اول هر مقاله روش ساخت یک ابزار رصدی توصیف می‌شود، در قسمت دوم روش استفاده از آن ابزار برای به‌دست آوردن مقدارهای نجومی یا به‌دست آوردن فاصله های زمینی[۲] آمده است و در قسمت سوم برهان‌های ریاضی و استدلال‌های هندسی در بارهٔ روش‌های تشریح شده در قسمت دوم ارائه می‌شود. هر یک از این قسمت

---

۱. این رساله با نام «رساله‌ای در هندسه» در کتابخانهٔ مغنیسه به آدرس اینترنتی زیر ثبت شده است:
http://yazmalar.gov.tr/eser/risaletul-handese/25909
در اینجا لازم است از آقای سجاد نیک‌فهم خوب‌روان که این نسخه را به بنده معرفی کردند تشکر کنم.

۲. یعنی کاربرد آنها در مساحی، معماری و مواردی این چنین برای اندازه‌گیری طول، ارتفاع، عمق و جز آن.

ها خود به دو یا چند باب نیز تقسیم شده‌اند و هر یک از باب‌ها نیز ممکن است به چند فصل تقسیم بشوند. تعداد باب‌ها و فصل‌های قسمت‌های دوم و سوم در اغلب موارد برابر هستند و به ازای هر کدام از فصل‌های ارائه شده در قسمت دوم، یک فصل در قسمت سوم آمده است که با عرضهٔ استدلال‌های هندسی فهم عملیات ریاضی ارائه شده را در فصل‌های قسمت دوم ممکن می‌کند. پس از مقالهٔ هفتم ضمیمه‌ای نیز با موضوع روش تخمین فاصله و تعداد نفرات سپاهیان دشمن در میدان نبرد و برخی موارد نظامی دیگر آمده است.

چهار مقالهٔ نخست که در آنها روش ساخت و استفاده از چهار ابزار نجومی آمده است به ترتیب به ابزارهای ذات الشعبتین، ذات الثقبتین، ذات المثلث و ربع اختصاص دارند و سه مقالهٔ بعدی در بارهٔ کار با اسطرلاب، آینه و ابزارهای ساده است. در این مقاله، فصل اسطرلاب با توجه به مشابهت آن با دیگر رساله‌های اسطرلاب حذف شده است و در ادامه در بارهٔ شش فصل باقی مانده سخن گفته خواهد شد.

ذات الشعبتین

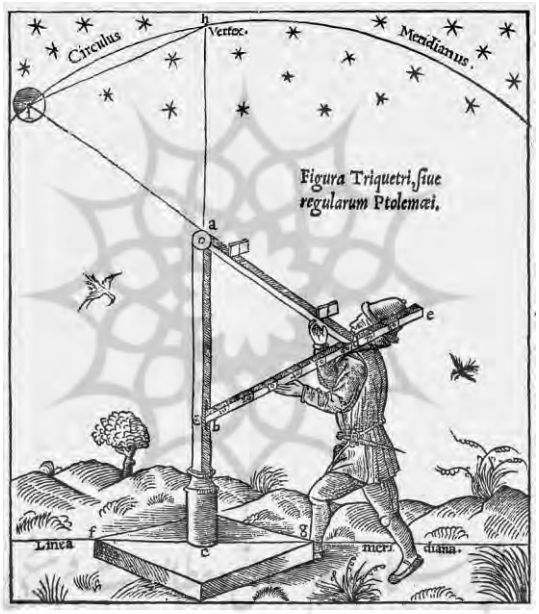
بطلمیوس در فصل دوازدهم از مقالهٔ پنجم مجسطی، خود را مبدع ابزار رصدی معرفی می‌کند که در دورهٔ اسلامی آن را به نام ذات الشعبتین می‌خواندند. او نام خاصی بر این ابزار نمی‌گذارد و علت ابداع آن را نیاز به اندازه‌گیری اختلاف منظر ماه می‌داند[1] (بطلمیوس،[2] ص۲۴۴). ذات الشعبتین بطلمیوس از دو بازو، هر کدام به طول دست کم چهار ذرع [حدود ۴۵ سانتیمتر]، تشکیل شده است. یکی از بازوها عمود بر زمین و صفحهٔ افق نصب می‌شود و بازوی دیگر در بالای بازوی اول به آن لولا می‌شود. بازوی دوم می‌تواند آزادانه حول محورش و در صفحهٔ نصف‌النهار بگردد. روی هر یک از بازوها خط‌کشی مدرج در راستای طول نصب می‌شود که بر اساس اجزاء تقسیم شعاع معمولاً به ۶۰ قسمت مساوی تقسیم شده‌اند. بر ابتدا و انتهای بازوی متحرک دو لبنهٔ

---

۱. اختلاف منظر عبارت است از جابه‌جا شدن ظاهری یک شیء نسبت به زمینه‌اش که به دلیل جابه‌جا شدن ناظر یا منظر روی می‌دهد. با این حساب همهٔ اجرام آسمانی اختلاف منظر دارند اما نزد گذشتگان این مقدار فقط برای ماه در نظر گرفته می‌شده است. در نجوم گذشته اختلاف منظر را زاویه‌ای در نظر می‌گرفتند که به سبب اختلاف افق ناظر (افق حسی) و خط افقی که از مرکز زمین می‌گذرد (افق حقیقی) پدید می‌آید. هر چه جسمی به زمین نزدیک‌تر باشد، اختلاف منظر آن بیشتر است و می‌باید در برخی محاسبات آن را به‌کار گرفت. منجمان گذشته برای این منظور اختلاف منظر ماه را رصد می‌کردند.

2. Ptolemy

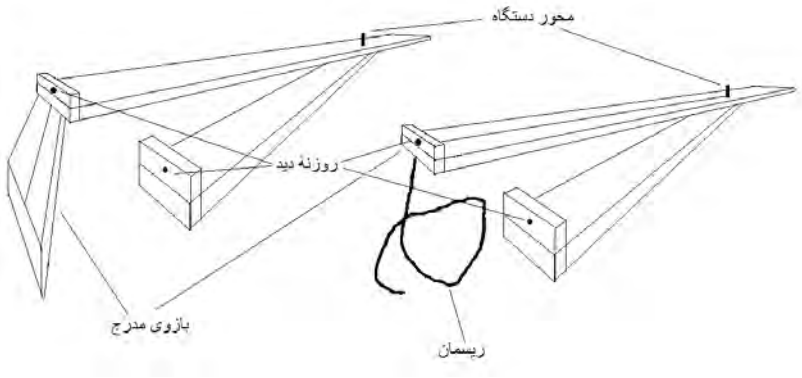
سوراخ‌دار برای نشانه رفتن به سوی ماه نصب شده‌اند (بطلمیوس، ص۲۴۴-۲۴۶). در انتهای پایینی بازوی ثابت یک بازوی دیگر لولا شده که آن هم می‌تواند آزادانه بگردد و به وسیلهٔ آن فاصلهٔ میان انتهای هر دو بازوی اصلی ابزار در هنگام رصد کردن ماه اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به اینکه بازوهای اصلی به ۶۰ قسمت مساوی تقسیم شده اند، با اندازه‌گیری فاصلهٔ انتهای آنها، برحسب درجه‌بندی بازوهای اصلی و با کمک جدول، می‌توان زاویهٔ میان بازوهای اصلی را به‌دست آورد. در یک نقاشی خیالی از بطلمیوس که در یکی از رساله‌های اورنس فینه[1] (درگذشته در ۱۵۵۵م) رسم شده است می‌توان تصوری از نحوهٔ کار با ذات الشعبتین به‌دست آورد.



تصویر۱. تصویر خیالی از بطلمیوس در حال کار با ذات الشعبتین (فینه، ص۸۴)

عبدالرحمن خازنی در رسالهٔ خود دو ابزار مشابه با دستگاه بطلمیوس معرفی می‌کند و یکی از آنها را ذات الشعبتین و دیگری را ذات المسطرتین می‌نامد (تصویر۲). ذات الشعبتین خازنی از نظر ظاهری شبیه ذات الشعبتین بطلمیوس است ولی ذات المسطرتین خازنی به جای بازوی سوم ریسمانی دارد که اندازه‌گیری مقدار گشودگی بازوها توسط آن انجام می‌شود. وی این دو دستگاه را در کاربرد یکسان می‌داند.

1. Oronce Finé (Orontius Fineusa)



تصویر۲. ذات المسطرتین خازنی(سمت راست) و ذات الشعبتین خازنی (سمت چپ)

کاربرد این ابزارها اندازه‌گیری زاویهٔ میان دو جرم سماوی است. بدین منظور خازنی از هر دو بازو برای رصد استفاده می‌کند. به همین دلیل باید یک لبنهٔ سوراخ‌دار در محل اتصال دو بازو و دو لبنه در انتهای هر یک از بازوها نصب کرد تا بتوان هر یک از بازوها را به سمت یکی از اجرام سماوی نشانه روی کرد. با اندازه‌گیری گشودگی میان دو بازو، زاویهٔ میان دو جرم از روی جدول وترها و کمان‌ها به‌دست می‌آید (تصویر۳).

تصویر۳. اندازه‌گیری کمان میان دو جرم آسمانی توسط ذات الشعبتین یا ذات المسطرتین

خازنی مثال‌هایی از به‌کار بردن ذات الشعبتین در مساحی و معماری نیز آورده است و این می‌تواند این فرض را قوت ببخشد که احتمالاً برای این دست کاربردها ابزارهایی در اندازهٔ کوچک‌تر که قابل حمل باشند ساخته می‌شده‌اند. نمونهٔ بازسازی شدهٔ ذات

الشعبتین رصدخانهٔ مراغه نمونه‌ای از این ابزار در کاربرد رصدخانه‌ای آن است. در این نمونه برای خواندن زوایا یک ربع جداری در کنار بازوها نصب شده است.

تصویر۴. نمونهٔ بازسازی شدهٔ ذات الشعبتین رصدخانهٔ مراغه (سزگین،[1] ص۴۵)

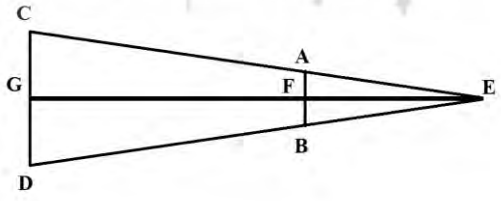
بر خلاف ذات الشعبتین رصدخانهٔ مراغه، که به سبب نصب در جهت نصف‌النهار احتمالاً تنها به منظور رصد اختلاف منظر ماه به‌کار می‌رفته است برخی نمونه‌های دیگر از ذات الشعبتین که در رصدخانه‌های دیگر به‌کار رفته‌اند می‌توانسته‌اند برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های دیگری، مانند ارتفاع سیارات و ستارگان به‌کار بروند. برای نمونه ابزاری است که ساخت آن را به ابن سینا منتسب کرده‌اند و نیز ذات الشعبتین ساخته شده در رصدخانهٔ استانبول (سزگین،ص۵۶).

1. Sezgin, Fuat

تصویر۵. نمونهٔ بازسازی شده از ذات الشعبتین رصدخانهٔ استانبول

ذات الثقبتین

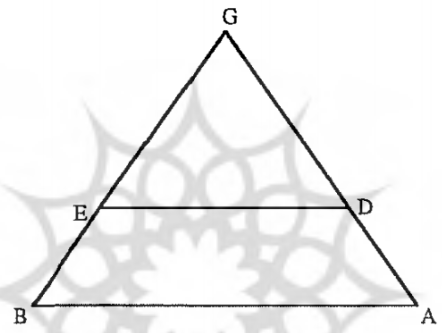
دستگاه رصدی ذات الثقبتین دارای دو لبنهٔ سوراخ دار است که اولی ثابت و دومی متحرک است. لبنهٔ ثابت در ابتدای یک خط‌کش چوبی مستطیل شکل و لبنهٔ متحرک درمیانهٔ خط‌کش نصب شده‌اند. طول خط‌کش را می‌توان بر اساس هر واحد دلخواهی درجه‌بندی کرد اما باید به خاطرداشت که قطر داخلی سوراخ لبنهٔ متحرک باید با واحدی که برای درجه‌بندی خط‌کش انتخاب می‌شود برابر باشد. ناظر باید از روزنهٔ دید لبنهٔ ثابت (E) نگاه کند و لبنهٔ متحرک را آن‌قدر جلو و عقب ببرد تا بتواند بی‌کم و کاست قطر جسم (CD) را مماس بر لبهٔ داخلی روزنهٔ دوم (AB) ببیند (تصویر۶). با خواندن درجهٔ ابزار (EF) و معلوم بودن AB و استفاده از روابط هندسی می‌توان فاصلهٔ ناظر تا جسم (FG) یا قطر آن (CD) را به‌دست آورد.



تصویر۶. نمودار هندسی ساده شدهٔ ذات الثقبتین

به نظر می‌رسد برهان این عملیات را بتوانیم در قضیهٔ ۲۲ از رسالهٔ مناظر اقلیدس بیابیم (خیراندیش،[1] ج۱، ص۶۶-۶۹). در آنجا اقلیدس روش به‌دست آوردن طول یک جسم را به‌صورت غیرمستقیم شرح می‌دهد. در تصویر۷ اگر نقطهٔ G چشم ناظر و AB طول جسم مورد نظر باشند و بتوانیم خط DE را در نزدیکی چشم ناظر و به موازات AB رسم کنیم، با در دست داشتن طول DE، AG و GD می‌توانیم طول/ارتفاع AB را از طریق تشابه مثلث‌های GED و GAB به‌دست آوریم:

$$AB = \frac{AG \times GE}{GD}$$



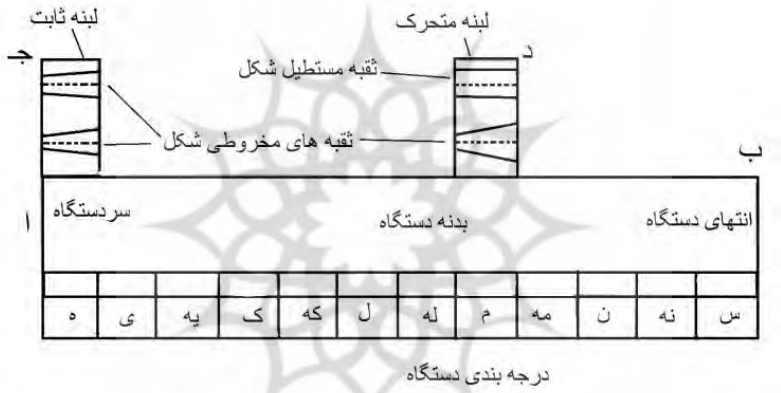
تصویر۷. اصول هندسی کارکرد ذات الثقبتین

خازنی در این رساله از مبدع ذات الثقبتین نام نبرده است اما بیشتر نویسندگان دورهٔ اسلامی آن را به هیپارخوس، منجم یونانی مشهور در سدهٔ دوم پیش از میلاد، منتسب کرده‌اند. عرضی در رسالهٔ خود می‌نویسد که بطلمیوس نیز از این ابزار نام برده است و ساخت آن را به هیپارخوس نسبت داده است (تکلی،[2] ۲۰۰۷، ص۲۶؛ بطلمیوس، ص۲۵۲). بطلمیوس این ابزار را «دیوپترا»[3] می‌نامد. دیوپترا نام عمومی مجموعه‌ای از ابزارهای اندازه‌گیری است که یونانی‌ها در نقشه‌برداری و معماری به‌کار می‌گرفتند هرون اسکندرانی[4] (مشهور در سدهٔ اول میلادی) در رساله‌ای با عنوان دیوپترا، انواع گوناگون این ابزار را توضیح می‌دهد (لویس،[5] ص۵۴-۵۵). ساده‌ترین نوع دیوپترا

1. Kheirandish, Elaheh
2. Tekeli
3. Dioptra
4. Heron of Alexandria
5. Lewis, M.J.T

همان است که بطلمیوس ابداع آن را به هیپارخوس نسبت داده است و در دورهٔ اسلامی ذات الثقبتین نام گرفت.

مؤیدالدین عُرضی در رساله‌اش روش ساخت ذات الثقبتین را شرح می‌دهد (تکلی، همان، ص۲۶-۳۲) و ادعا می‌کند که این ابزار مشابه با ذات الثقبتین بطلمیوس است. اگر ادعای عرضی را، در باب شباهت ابزارش به ذات الثقبتین بطلمیوس، بپذیریم می توانیم ذات الثقبتین خازنی را نیز مشابه با ذات الثقبتین بطلمیوس بدانیم. تفاوت ابزار خازنی با ابزار عرضی در این است که خازنی دو روزنهٔ دید چهارگوش به لبنه‌های ابزارش اضافه کرده است تا علاوه بر رصد اجرام آسمانی آن را برای مساحی نیز به‌کار ببرد (تصویر۸).



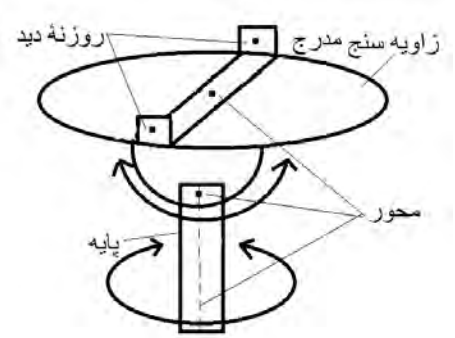
تصویر۸. ذات الثقبتین خازنی

ذات المثلث

ذات المثلث را می‌توان بدیع‌ترین ابزار رصدی رسالهٔ خازنی دانست. ابزارهای اندازه گیری مشابه با ذات المثلث از حدود قرن سوم ق.م در یونان استفاده می‌شده‌اند و همان طورکه در بالا اشاره شد آنها را در یونان و روم باستان با نام عمومی دیوپترا می‌شناختند.

هرون انواع مختلف دیوپترا را، که تا زمان او توسعه یافته بودند، ناکارآمد و ساده می‌داند و نمونهٔ جدیدتر و پیچیده‌تری از دیوپترا معرفی می‌کند. وی ادعا می‌کند که دیوپترایی که خودش طراحی کرده می‌تواند تمام وظایفی را که قبلاً بر عهدهٔ دیوپتراهای گوناگون بودند برعهده بگیرد (لویس، ص۵۴). این دیوپترا می‌توانست به‌عنوان تراز،

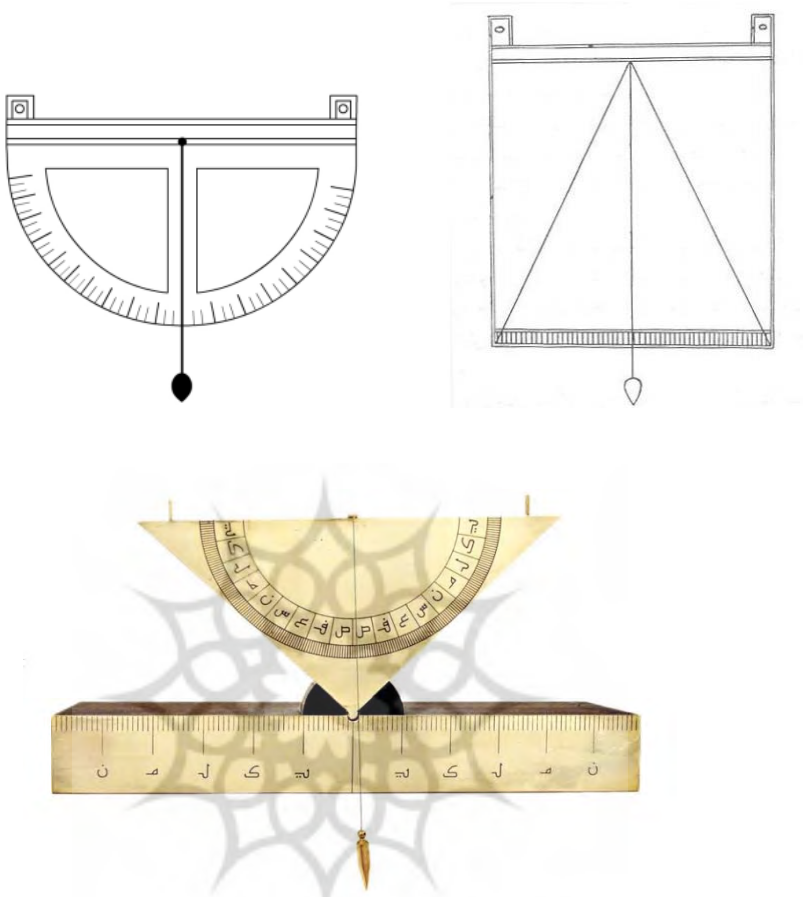
فاصله‌یاب و زاویه‌یاب به‌کار گرفته شود (همو، ص۸۸) و به صورت عمودی یا افقی مورد استفاده قرار بگیرد (تصویر۹).



تصویر۹. یک نمودار ساده از دیوپترای هرون

از ورود دیوپترا به تمدن اسلامی اطلاعات چندانی در دست نداریم. شاید علت این فقدان اطلاعات در این باشد که اعراب واژهٔ معادلی برای دیوپترا نیافتند و در ترجمهٔ رساله‌های یونانی به عربی آن را با نام عمومی «اسطرلاب» ترجمه کردند (لویس، ص۵۰).

اولین اشاره به دیوپترا در تمدن اسلامی را می‌توانیم در کتاب استخراج آب‌های پنهانی ابوبکر کرجی (مشهور در نیمهٔ نخست سدهٔ ۵ق) بیابیم (همو، ص۶۲). او به چند نوع تراز اشاره می‌کند که شباهت بسیاری به دیوپترا دارند. اولین تراز، که کرجی آن را «تراز شاقولی» می‌نامد، در حقیقت معادل قاعدهٔ ابزار ذات المثلث خازنی است که بر روی آن یک مثلث و در رأس مثلث یک شاقول نصب شده باشد. درجه‌بندی قاعدهٔ مثلث این اجازه را می‌دهد تا نقشه بردار بتواند شیب مورد نظر خود را اندازه گیری کند. کرجی در ادامهٔ کتابش به تراز دیگری اشاره می‌کند که آن نیز بسیار به ذات المثلث شبیه است. این تراز «تراز شاقولی با صفحهٔ نیم دایره» نام دارد. ترکیب این دو تراز کرجی با هم در یک ابزار، ابزاری شبیه ذات المثلث خازنی را به‌دست خواهد داد (رحیمی، ص۷۴، ۷۷).



تصویره۱. بالا، ترازهای کرجی؛ دست راست، تراز شاقولی و دست چپ، تراز شاقولی با صفحهٔ نیم‌دایره (رحیمی، ص۷۴، ۷۷) پایین، نمونهٔ بازسازی شده از ذات المثلث (سزگین، ص۱۴۷)

بر اساس توضیحات خازنی ذات المثلث از دو قسمت اصلی تشکیل شده است: مثلث و قاعده. مثلث دارای یک نیم دایرهٔ درجه‌بندی شده است که به مرکز آن شاقولی وصل شده است. با تراز کردن قاعده در سطح افق و نشانه‌روی از طریق روزنه‌های دیدِ نصب شده در بالای مثلث می‌توان ارتفاع اجرام آسمانی را به‌وسیلهٔ ریسمان شاقول بر روی درجه‌بندی نیم دایره خواند.

ذات المثلث خازنی، بر خلاف ترازهای کرجی، نه تنها می‌تواند به‌عنوان تراز یا شیب سنج[1] به‌کار گرفته شود بلکه می‌توان آن را به منظور به‌دست آوردن ارتفاع اشیاء دور دست نیز به‌کار برد. خازنی در رساله‌اش روش‌های اندازه‌گیری فاصله و ارتفاع و محاسبات مربوط به آنها را به‌تفصیل توضیح داده است. آنچه ارزش معرفی این ابزار را در رسالهٔ خازنی بیشتر می‌کند آن است که تقریباً در هیچ رسالهٔ دیگری از این ابزار نام برده نشده است او می‌نویسد که بیرونی در کتاب تحدید نهایات الأماکن به‌طور خلاصه به چنین ابزاری اشاره کرده است. هر چند که بیرونی برای اندازه‌گیری ارتفاع کوه‌ها ابزاری معرفی می‌کند که بی‌شباهت به ذات المثلث نیست (بیرونی، ص۱۹۰-۱۹۵) اما به‌صورت مستقیم از ذات المثلث نام نبرده است. احتمال دارد که خازنی خود دیوپترا را به‌عنوان یک ابزار رصدی احیا کرده باشد و یا اینکه در دوران خازنی این ابزار رصدی توسط منجمان معاصر خازنی احیا و پس از مدتی دوباره به فراموشی سپرده شده باشد.

ربع

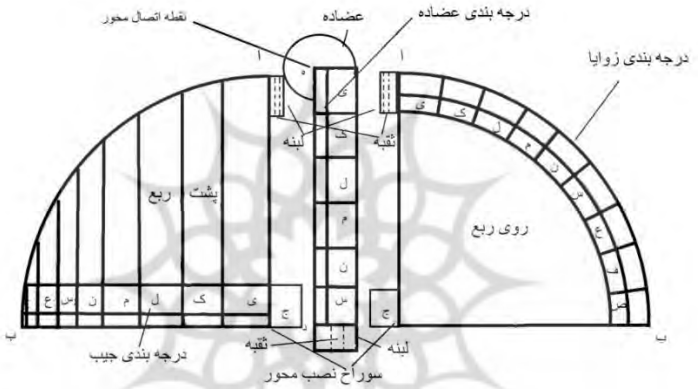
ربع، زاویه سنجی است که می‌تواند زوایا را تا حداکثر ۹۰ درجه اندازه‌گیری کند. ساخت ابزار رصدی ربع، مانند بسیاری دیگر از ابزارهای رصدی، به بطلمیوس نسبت داده می شود. وی در مجسطی به نوعی ابزار اندازه‌گیری اشاره می‌کند که از نصب یک صفحهٔ مدرج و یک میله بر روی دیواری که در جهت شمال-جنوب قرار دارد، ساخته شده است و برای اندازه‌گیری ارتفاع خورشید در هنگام ظهر کاربرد دارد (ص۶۲-۶۳). بطلمیوس نامی برای ابزارش انتخاب نکرده بود اما در نجوم دورهٔ اسلامی این گونه ابزارها را «لبنه» یا «ربع دیواری» نامیدند (سزگین، ص۶۷) و در رصدخانه‌های بزرگ دورهٔ اسلامی نمونه‌هایی از آن ساخته شد.[2]

به نظر می‌رسد منجمان مسلمان با الگوگیری از اسطرلاب ربع‌هایی کوچک و قابل حمل ساختند. جنس این ربع‌ها مانند اسطرلاب، از برنج یا مس است و با رسم نمودارها و منحنی‌هایی بر روی آنها امکان این که مانند اسطرلاب برای محاسبات نجومی و زمان سنجی به‌کار گرفته شوند فراهم می شد (کینگ، ص۱۶۷). ربع خازنی نیز گونه‌ای از

1. clinometer

۲. البته رصدگران مسلمان به تجربه دریافتند که به جای ساخت یک چهارم دایره می‌توانند از یک ششم دایره استفاده کنند و از این بابت موفق شدند این ابزار را در اندازه‌های بزرگ‌تری بسازند. برای مثال سُدس رصدخانه سمرقند که در نیمه نخست سدهٔ ۹ق ساخته شد قوسی از دایره‌ای به شعاع ۲۰ متر است.

این ربع‌های دستی است. در زمان استفاده یکی از اضلاع ربع خازنی در راستای افق و ضلع دیگرش عمود بر زمین و در راستای سمت الرأس قرار می‌گیرد. ناظر باید برای اندازه‌گیری زوایا از عضاده‌ای که در گوشهٔ ربع لولا شده است استفاده کند. ربع خازنی علاوه بر زاویهٔ جرم سماوی می‌تواند سینوس آن زاویه را نیز به‌دست دهد. شبکه‌ای از خطوط عمودی رسم شده بر پشت ابزار به ناظر اجازه می‌دهند تا سینوس زاویه‌ای را که توسط عضاده می‌بیند مستقیماً و بدون نیاز به محاسبات ریاضی به‌دست آورد (تصویر۱۱). ربع‌هایی که توانایی به‌دست دادن مستقیم سینوس زاویه را داشته باشند در دورهٔ اسلامی «ربع مُجیّب» می‌نامیدند.



تصویر۱۱. ربع خازنی

خازنی کاربردهای دیگری را از ربع به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری در معماری و مساحی عنوان می‌کند که نشان می‌دهد احتمالاً در زمان او ربع‌های دستی به‌صورت گسترده‌ای در معماری و نقشه برداری به‌کار گرفته می‌شدند.

آینه

از رسالهٔ خازنی بر می‌آید که استفاده از آینه، به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری فاصله، سابقه‌ای طولانی داشته است. هر چند که خازنی اشاره‌ای به کتاب مناظر اقلیدس نکرده است اما می‌دانیم که در این کتاب قضیه‌ای برای به‌دست آوردن فاصله با استفاده از آینه آورده شده است و احتمالاً خازنی از آن استفاده کرده است.

خازنی در رساله‌اش قضیهٔ بیستم از مناظر را عیناً نقل می‌کند و اثبات هندسی آن را می‌آورد. وی در ادامه روشی را ارائه می‌کند تا اگر فاصلهٔ جسم تا ناظر غیرقابل اندازه

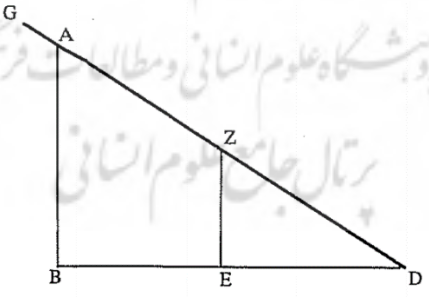
گیری باشد، مثلاً جسم مورد نظر در آن سوی رودخانه باشد، اندازه‌گیری با استفاده از دو آینه انجام شود. در این مورد، هم فاصلهٔ آینه تا پای شیء مورد نظر به‌دست می‌آید و هم ارتفاع آن. خازنی در رساله‌اش توضیح نمی‌دهد که این روش‌ها را چگونه و از کجا فراگرفته است.

ابزارهای سادهٔ کاربردی

خازنی فصل هفتم رساله‌اش را به استفاده از وسایل سادهٔ کاربردی برای اندازه‌گیری فاصله‌ها و ارتفاع اجسام اختصاص داده است. روش‌های او عمدتاً با مقایسهٔ سایهٔ جسم با سایهٔ شاخصی که طول آن معلوم است انجام می‌شوند و در نتیجه اندازه‌گیری فاصله ها و ارتفاع اجسام به‌صورت غیرمستقیم انجام می‌شود.

اندازه‌گیری غیرمستقیم ارتفاع اشیاء و ساختمان‌های بلندمرتبه سابقه‌ای طولانی دارد. شاید بتوانیم اندازه‌گیری ارتفاع اهرام مصر را با مقایسهٔ سایهٔ آن با سایهٔ یک شاخص با طول معلوم، که توسط تالس (قرن‌های ۶ و۷ ق.م) صورت‌گرفت، قدیمی ترین مورد ثبت شدهٔ تاریخی در این حوزه بدانیم (هیث،[1] ص۸۹). اقلیدس در قضیهٔ ۱۹ رسالهٔ مناظر خود روش تالس را برای اندازه‌گیری ارتفاع اجسام با استفاده از نور خورشید ،بدون اشاره به‌نام تالس، تشریح و اثبات می‌کند (تصویر۱۲؛ خیراندیش، ج۱، ص۵۶-۵۷):

$$AB = \frac{BD \times ZE}{ED}$$



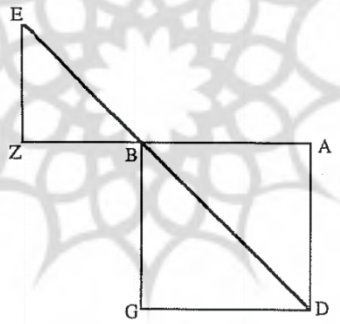
تصویر۱۲. اندازه‌گیری ارتفاع با کمک سایهٔ یک شاخص

1. Heath, Thomas

خازنی نیز در این رساله همین روش را معرفی می‌کند و اثبات آن را ارائه می‌دهد. گفته می‌شود که تالس با استفاده از روش غیرمستقیمی مشابه با روش بالا توانسته است فاصلهٔ یک کشتی تا خشکی را نیز محاسبه کند (هیث، ص۸۹). خازنی نیز روشی را برای به‌دست آوردن عرض رودخانه به‌دست می‌دهد که بی‌شباهت به روش تالس برای اندازه‌گیری فاصلهٔ کشتی تا خشکی نیست.

معماران نیز نیازمند چنین روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیمی بودند. در بسیاری از موارد اندازه‌گیری مستقیم ارتفاع یک دیوار یا عمق چاه غیرممکن می‌نماید در حالی که یک معمار نیاز دارد تا این گونه اندازه‌ها را به‌دست آورد. اقلیدس در قضیهٔ ۲۱ رسالهٔ مناظر خود روش غیرمستقیم دیگری را برای به‌دست آوردن عمق چاه‌ها معرفی می‌کند (تصویر۱۳؛ خیراندیش، ج۱، ص۶۲-۶۵):

$$AD = \frac{AB \times ZE}{ZB}$$



تصویر۱۳. اندازه‌گیری عمق چاه به‌صورت غیرمستقیم

خازنی روش اقلیدس را برای به‌دست آوردن عمق چاه بی‌کم و کاست در مقالهٔ هفتم رساله‌اش توضیح می‌دهد و اثبات آن را نیز به‌دست می‌دهد.

با مطالعهٔ رسالهٔ خازنی می‌توان دریافت که احتمالاً وی قصد داشته تا روش‌هایی را که در آن دوره برای اندازه‌گیری غیرمستقیم فاصله‌ها، ارتفاع و عمق رواج داشته‌اند جمع‌آوری کند. دقت در این روش‌ها می‌تواند تصویری از چگونگی عملکرد معماران و مهندسان دوران میانه بر ما روشن کند.

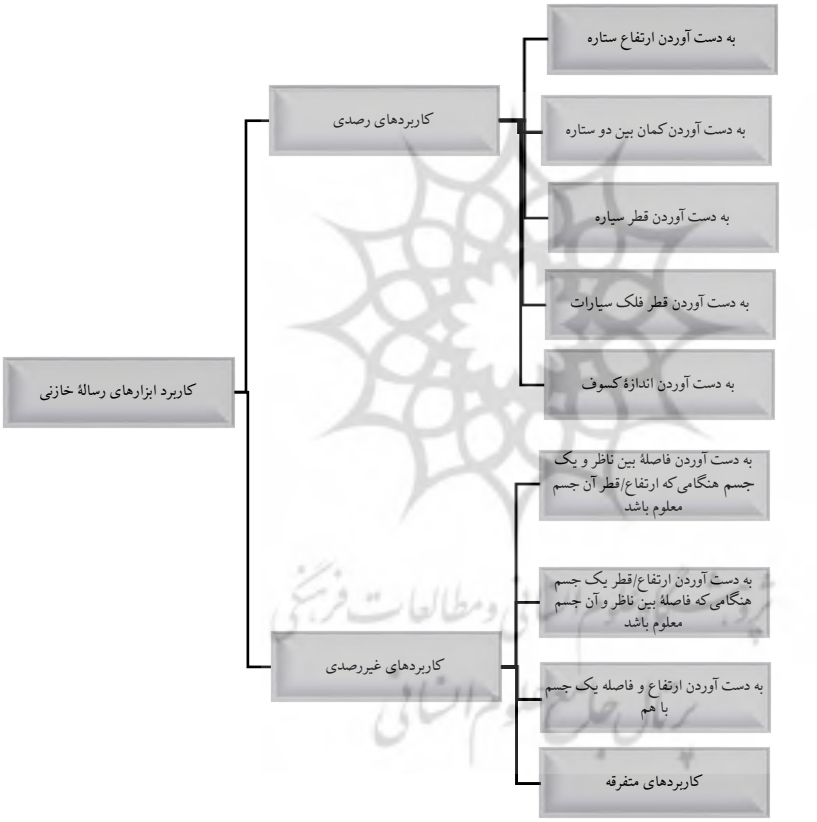
کاربرد ابزارهای رسالهٔ خازنی

کاربردهای ابزارهای خازنی را می‌توان در دو مورد کلی خلاصه کرد:

۱- کاربرد رصدی

۲- کاربرد در مساحی و معماری

خازنی برای هر یک از این دو مورد چندین کاربرد فرعی نیز می‌آورد. خلاصه‌ای از کاربردهای ابزارهای رسالهٔ خازنی را می‌توان در نمودار زیر مشاهده کرد.



کاربردهای رصدی ابزارهای رسالهٔ خازنی

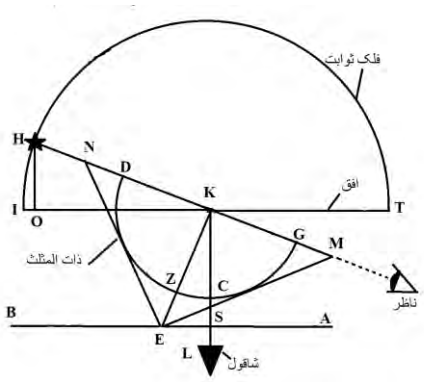
کاربردهای اصلی ابزارهای رسالهٔ خازنی، به‌عنوان ابزار رصدی، تعیین کمان میان دو جرم سماوی و تعیین ارتفاع هر یک از آنها است. کاربردهای رصدی به چهار مقالهٔ

ابتدایی رساله محدود می‌شوند و می‌توانیم خلاصهٔ آنها را در جدول۱ مشاهده کنیم. خازنی هیچ کاربرد رصدی برای اسطرلاب نیاورده است.

جدول۱. کاربردهای رصدی ابزارهای رسالهٔ خازنی

	ذات الشعبتین	ذات الثقبتین	ذات المثلث	ربع	اسطرلاب	آینه	ابزارهای سادهٔ کاربردی
به‌دست آوردن کمان میان دو ستاره	√	×	×	√	×	×	×
به‌دست آوردن ارتفاع ستاره	×	×	√	×	×	×	×
به‌دست آوردن قطر فلک سیارات	×	√	×	×	×	×	×
به‌دست آوردن قطر سیاره	×	√	×	×	×	×	×
به‌دست آوردن اندازهٔ کسوف	×	√	×	×	×	×	×

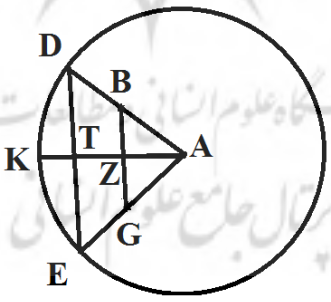
از میان پنج ابزار رصدی اصلی که خازنی در رساله‌اش از آنها یاد کرده است، ابزارهای ذات الشعبتین و ربع برای تعیین کمان میان دو جرم سماوی به‌کار رفته‌اند. هرچند که ربع می‌تواند برای اندازه‌گیری ارتفاع آنها به‌کار برده شود اما خازنی تنها از ذات المثلث برای این کار استفاده می‌کند (تصویر۱۴). احتمال دارد که خازنی دقت ذات المثلث را به اندازه‌ای می‌دانسته که برای به‌دست آوردن ارتفاع نیازی به ربع نمی دیده است.



تصویر۱۴. استفاده از ذات المثلث برای به‌دست آوردن ارتفاع ستارهٔ H

در دورهٔ اسلامی محاسبات مربوط به اندازه های سماوی در یکی از زیرشاخه‌های علم نجوم صورت می‌گرفت که «ابعاد و اجرام» نام داشت. از رسالهٔ خازنی درمی‌یابیم که ذات الثقبتین تنها ابزار رصدی بوده که در ابعاد و اجرام به‌کار گرفته می‌شده است. خازنی در مقالهٔ دوم رساله اش توضیح می‌دهد که چگونه می‌توان با استفاده از ابزار ذات الثقبتین قطر یک سیاره (DE) را ،برحسب قطر فلک ثوابت، به‌دست آورد. وی برای این امر رابطهٔ زیر را ارائه می کند (تصویر۱۵):

$$DE = \frac{۶۰}{AB}$$



تصویر۱۵. BG قطر روزنهٔ دستگاه و برابر با یک، AB طول بازوی دستگاه، AD قطر فلک ثوابت (بر اساس حساب شصتگانی برابر با ۶۰) و A محل چشم ناظر است

البته با توجه به ساختار این ابزار، احتمالاً با آن تنها می‌توان قطر ماه را به‌دست آورد. بر اساس اندازه‌گیری‌های امروزی زهره نزدیک‌ترین سیاره به زمین است. زهره در

نزدیک‌ترین وضعیت در حدود ۴۲ میلیون کیلومتر با زمین فاصله دارد و قطر آن تقریباً ۱۲ هزار کیلومتر است. اگر اعداد فوق را در رابطه‌ای که خازنی برای به‌دست آوردن قطر سیارات توسط ذات الثقبتین ارائه می‌کند بگذاریم و قطر روزنهٔ دید را برابر با یک سانتیمتر فرض کنیم، برای اندازه‌گیری قطر تقریبی زهره طول بازوی ابزار باید برابر با ۳۵ متر باشد:

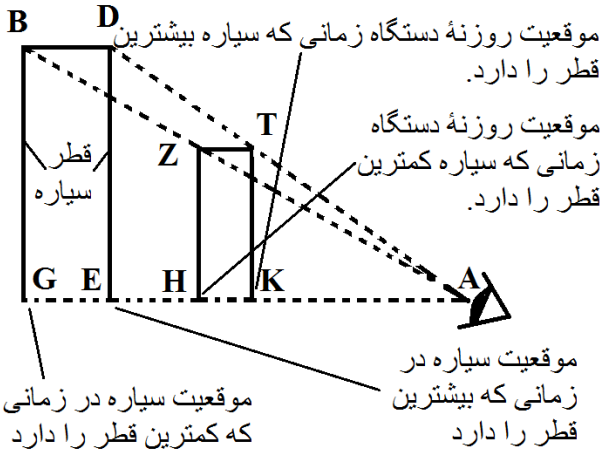
$$۱۲ \times ۱۰^{۳} = \frac{۴۲ \times ۱۰^{۶} \times ۱۰^{-۲}}{\text{طول بازو}} \rightarrow \text{طول بازو} = ۳۵m$$

با تکرار همین محاسبات برای ماه داریم:

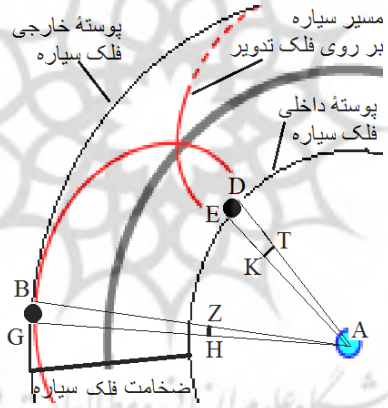
$$۳.۴ \times ۱۰^{۳} = \frac{۳۸۴ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰^{-۲}}{\text{طول بازو}} \rightarrow \text{طول بازو} = ۱.۱۳\text{m}$$

و بر این اساس طول بازوی ابزار ذات الثقبتین برای اندازه‌گیری قطر ماه باید در حدود دو متر باشد. هرچند که با یک ذات الثقبتین با این طول احتمالاً باید بتوان قطر ماه را به‌دست آورد اما در بارهٔ دقت این اندازه‌گیری نمی‌توان اظهار نظر کرد.

خازنی می‌گوید که برای به‌دست آوردن ضخامت فلک سیاره با استفاده از ابزار ذات الثقبتین باید فاصلهٔ سیاره تا ناظر یک بار هنگامی که سیاره بیشترین قطر را دارد و بار دیگر هنگامی که سیاره کمترین قطر را دارد اندازه‌گیری شود (تصویرهای ۱۶و ۱۷). با داشتن اختلاف بین این دو مقدار می توان ضخامت فلک سیاره را تعیین کرد. یکی از فواید به‌دست آوردن اندازهٔ افلاک این است که می‌توان آنها را به ترتیب فاصله‌شان تا زمین مرتب کرد.



تصویر۱۶. بر اساس روش خازنی قطر سیاره باید یک بار در زمانی که سیاره در نقطهٔ G (نسبت به ناظر A) قرار دارد اندازه‌گیری شده و یکبار در زمانی که سیاره در نقطهٔ E قرار دارد.

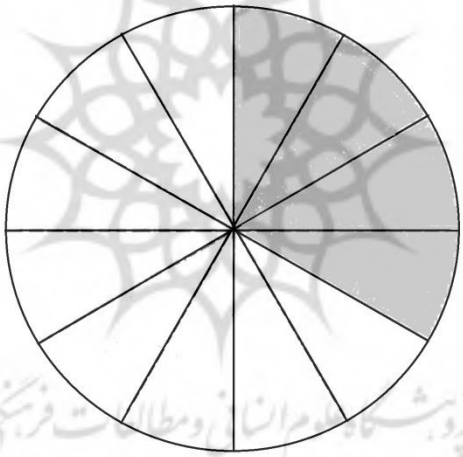


تصویر۱۷. نموداری از تصویر۱۶ بر اساس مدل سیارات بطلمیوسی.

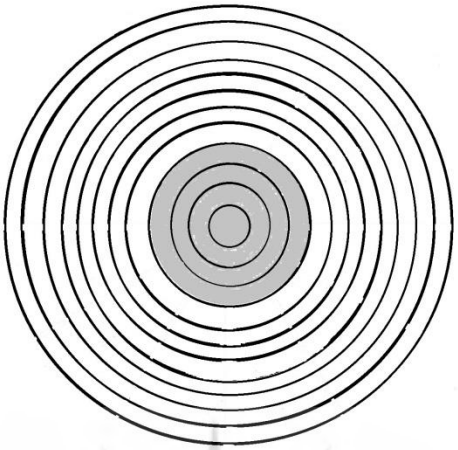
به‌دست آوردن اندازهٔ کسوف از کاربردهای دیگر ابزار ذات الثقبتین است. اندازهٔ کسوف[1] کمیتی است که در نجوم قدیم به‌وسیلهٔ آن می‌توانستند گرفتگی‌های جزئی را با یکدیگر مقایسه کنند. به منظور اندازه‌گیری این کمیت از دو روش بهره برده می‌شد و در هر دو روش از اصبع[2] به عنوان واحد اندازه‌گیری استفاده می‌کردند. در روش اول محیط

۱. این کمیت در کتاب‌های نجوم دورهٔ اسلامی و همچنین رسالهٔ خازنی با نام «حد کسوف» ضبط شده است.
۲. اصبع (به معنای انگشت) از واحدهای اندازه‌گیری کهن است که در ریاضیات، نجوم و موسیقی کاربرد داشته است. اصبع همچنین از واحدهای اندازه‌گیری طول بوده است.

دایره به ۱۲ کمان مساوی تقسیم می‌شد (تصویر۱۸) و به هر مقدار که گرفتگی جزئی یکی از نیرین ،یعنی ماه و خورشید، روی می‌داده آن مقدار را بر اساس کمانی از سایه که سطح خورشید یا ماه را می‌پوشانده می‌سنجیدند. با این روش اگر سایه نیمی از مساحت خورشید یا ماه را می‌پوشاند اندازهٔ کسوف برابر با شش اصبع می‌شد. این کمیت اندازهٔ کسوف جرمی نامیده می‌شد. در روش دوم قطر دایره به ۱۲ قسمت برابر و بنا بر این دایره به ۱۲ دایرهٔ متحدالمرکز تقسیم می‌شد (تصویر۱۹). پس از رسیدن گرفتگی به اوج خود، مقدار قطر سایه از روی دوایر متحدالمرکز اندازه‌گیری می‌شد و اندازهٔ کسوف قطری بر حسب آن به‌دست می‌آمد. لازم به ذکر است که ذات الثقبتین خازنی تنها می توانست اندازهٔ کسوف قطری را اندازه‌گیری کند و خازنی به روش یا روش‌های اندازه گیری کسوف جرمی اشاره‌ای نکرده است.



تصویر۱۸. تقسیم دایره با استفاده از خطوط متقاطع برای اندازه‌گیری اندازهٔ کسوف جرمی. این شکل کسوف با اندازهٔ چهار اصبع را نشان می‌دهد



تصویر۱۹. تقسیم دایره به دوایر متحدالمرکز برای اندازه‌گیری اندازهٔ کسوف قطری. این شکل کسوف با اندازهٔ چهار اصبع را نشان می‌دهد

کاربردهای غیررصدی ابزارهای رسالهٔ خازنی

با نگاه دقیق‌تری به‌متن رسالهٔ خازنی می‌توان نتیجه گرفت که خازنی کاربردهای نجومی محدودی برای ابزارها آورده است و بیشتر به استفاده از آنها در مساحی نظر داشته است. تعیین فاصلهٔ اجسام دور دست از مشکلاتی بوده که مهندسان و معماران از قدیم با آن دست و پنجه نرم کرده‌اند. در مواردی که دسترسیِ مستقیم به جسمی امکان‌پذیر نباشد استفاده از روابط هندسی، و در مرحلهٔ بعد روابط مثلثاتی، می‌تواند راهگشا باشد. اما روابط هندسی نیز بدون در دست داشتن زوایا و بعضی از اندازه‌ها چندان کارا نیستند. از همین روی ابزارهای معرفی شده در رسالهٔ خازنی را می‌توان برای به‌دست آوردن زوایا و به‌کارگیری آنها در روابط هندسی و مثلثاتی و در نهایت تعیین فاصله‌ها به‌کار برد. هر چند این دسته از کاربردها را می‌توان در حوزه‌های مختلفی مانند معماری، ناوبری، فنون نظامی و چیزهایی از این قبیل در نظر گرفت اما آنچه در رسالهٔ خازنی آمده است به معماری و مسائل مربوط به آن مرتبط است. کاربردهای غیر رصدی ابزارهای رسالهٔ خازنی را می توان در جدول۲ خلاصه کرد:

جدول۲. کاربردهای غیر رصدی ابزارهای رسالهٔ خازنی

	ذات الشعبتین	ذات الثقبتین	ذات المثلث	ربع	اسطرلاب	آینه	ابزارهای سادهٔ کاربردی
به‌دست آوردن ارتفاع/قطر یک جسم هنگامی که فاصلهٔ میان ناظر و آن جسم معلوم باشد	√	√	√	√	√	√	√
به‌دست آوردن فاصلهٔ میان ناظر و یک جسم هنگامی که ارتفاع/قطر آن جسم معلوم باشد	√	√	√	√	√	√	√
به‌دست آوردن ارتفاع و فاصلهٔ یک جسم از ناظر به‌طور هم‌زمان	√	√	√	√	√	√	√
به‌دست آوردن عمق چاه	×	×	×	×	√	×	√
به‌دست آوردن عرض دیوار	×	×	×	×	×	×	√

خازنی برای حل مسائلی که در آنها ارتفاع یا قطر یک جسم مجهول و فاصلهٔ آنها تا ناظر معلوم است، و یا فاصلهٔ آن جسم تا ناظر مجهول و ارتفاع یا قطر جسم معلوم است از تشابه مثلث‌ها بر اساس قضیهٔ تالس استفاده می‌کند. می‌دانیم که اگر خط راستی موازی با یکی از ضلع‌های مثلثی رسم شود، دو ضلع دیگر را به یک نسبت قطع می کند.[۱] بنا بر این با داشتن سه طرف از چنین تناسبی می‌توان طرف چهارم را به‌دست آورد. خازنی اندازه‌گیری با این ابزارها را طوری انجام می‌دهد که چنین تناسبی به‌دست آورد و مقدار مجهول را محاسبه کند.

خازنی برای هر یک از ابزارها روشی معرفی می‌کند که اگر ارتفاع یا قطر جسم مورد نظر و همچنین فاصلهٔ آن مجهول باشند بتوان هر دو را با هم به‌دست آورد. بدین منظور

۱. قضیهٔ ۶/II از اصول اقلیدس

باید دو اندازه‌گیری در دو محل متفاوت انجام بشود و با اندازه‌گیری فاصلهٔ دو منظر و به‌کار بردن چند رابطهٔ ریاضی می‌توان هم ارتفاع یا قطر جسم هم فاصلهٔ آن را تا ناظر به‌دست آورد. شرط رسیدن به جواب این است که هر دو محلِ انجامِ اندازه‌گیری با جسم مورد نظر در یک راستا و یک ارتفاع باشند.

رساله‌های عُرضی و کاشانی در بارهٔ ابزارهای رصدی

مؤیدالدین عُرضی در بارهٔ روش‌های ساخت ابزارهای رصدخانهٔ مراغه رسالهٔ مبسوطی دارد. او در رساله‌اش به ساخت ۱۱ ابزار رصدی اشاره می‌کند که البته یکی از آنها ابزاری است که پیش از رفتن به مراغه آن را ساخته بوده است (سزگین، ص۳۸-۵۲). بر خلاف خازنی که تمرکزش بر ارائهٔ روش‌های به‌کارگیری ابزارهای رصدی بود، عرضی به اینکه این ابزارها چگونه استفاده می‌شوند و کمیت‌های اندازه‌گیری شده توسط آنها چگونه به نسبت‌های هندسی، زوایا و یا فواصل تبدیل می شوند نمی‌پردازد. در عوض، عُرضی به صورت کامل ساخت هر یک از ابزارهای رصدی را به صورت جزء به جزء و مرحله به مرحله شرح داده است. عرضی حتی مصالح به‌کار رفته در هر یک از ابزارها را توضیح می‌دهد. رسالهٔ عرضی برای کسانی که بخواهند ابزارهای رصدخانهٔ مراغه را بازسازی کنند بهترین مرجع است. در مقابل، هرچند که خازنی روش‌های ساخت ابزارها را توضیح می‌دهد اما بیشتر برای کسانی مناسب است که دنبال این هستند که ابزارهای ساخته شده را به‌کار ببرند و از آنها برای حل مسائلشان استفاده کنند.

تفاوت دیگرِ ابزارهای عرضی و خازنی در این است که ابزارهای رصدی عرضی همگی ابزارهای بزرگی هستند که بر روی پایه نصب می‌شوند و اغلب آنها قابلیت جابه جایی ندارند. عرضی ابزارهایش را اختصاصاً برای رصد آسمان ساخته است و به کاربردهای احتمالی آنها در مساحی و معماری توجهی ندارد.

غیاث‌الدین جمشید کاشانی نیز رساله‌ای در بارهٔ ابزارهای رصدی نوشته است. در بارهٔ این که این رساله لزوماً معرفی ابزارهای رصدخانهٔ سمرقند باشند نمی‌توان اظهار نظر دقیقی کرد چون کاشانی احتمالاً این رساله را پیش‌تر نوشته بوده است اما تقریباً همهٔ این ابزارها در رصدخانه نیز به‌کار رفته‌اند. این رسالهٔ کوچک مشتمل بر معرفی هشت ابزار رصدی است (فقیه عبداللهی، ص۲۸۹-۲۹۳). کاشانی، همانند عُرضی، بر ساخت و نصب ابزارهای رصدی تمرکز کرده است و بر خلاف خازنی، در بارهٔ روش‌های محاسباتی مورد نیاز این ابزارها توضیحی نمی‌دهد. همچنین کاشانی نیز همچون عرضی

تنها به کاربردهای رصدی این ابزارها توجه کرده است. مقایسه‌ای از ابزارهای رصدی ارائه شده در هر سه رساله در جدول۳ آمده است.

جدول۳. ابزارهای رصدی در رساله‌های خازنی، عُرضی و کاشانی

	ذات الشعبتین	ذات التقبتین	ذات المثلث	ربع	اسطرلاب	آینه	ابزارهای سادهٔ کاربردی	ذات الحلق	آلت معرفة میل فلک البروج	حلقة الاستوا	ذات الربعین	ذات الجیب و السمت	ذات الجیب و السهم	آلت کاملة	کرهٔ سماوی
خازنی	√	√	√	√	√	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×
عرضی	√	√	×	√[i]	×	×	×	√	√	√	√	√	√	√	√
کاشانی	√	×	×	√[ii]	×	×	×	√[iii]	√[iv]	√[v]	√[vi]	√	×	×	×

i. عرضی در بارهٔ ربع جداری در رساله‌اش سخن گفته است؛

ii. کاشانی در رساله‌اش سدس را به جای ربع معرفی کرده است ؛

iii. کاشانی علاوه بر ذات الحلق نمونهٔ ساده‌تری از این ابزار را با نام ذات الحلق الصغیر معرفی کرده است؛

iv. کاشانی این ابزار را با نام حلقهٔ اعتدال معرفی کرده است؛

v. کاشانی این ابزار را با نام حلقتان معرفی کرده است؛

vi. کاشانی این ابزار را با نام ذات السمت و الارتفاع معرفی کرده است.

منابع

بیرونی، ابوریحان. (۱۳۵۲ش). تحدید نهایات الأماکن لتصحیح مسافات المساکن. ترجمهٔ احمد آرام. چاپ اول. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

خازنی. (۲۰۰۱م). في الآلات العجيبة. چاپ تصویری در منشورات معهد تاریخ العلوم العربية و الإسلامية سلسلة ج عيون التراث. ج۶۶، مجموعة رسائل عربية فی علم الفلک و الرياضيات. فرانکفورت.

درایتی، مصطفی. (۱۳۹۰ش). فهرستگان نسخه‌های خطی ایران. چاپ اول، تهران: سازمان اسناد و کتابخانهٔ ملی ایران.

رحیمی، غلامحسین. (پاییز و زمستان ۱۳۸۷ش). «ترازهای کرجی.» تاریخ علم، شمارهٔ ۷، ص۶۷-۹۲.

فقیه عبداللهی، حسن. (بهار و تابستان ۱۳۷۴ش). «بررسی رسالهٔ شرح آلات رصد نوشتهٔ غیاث الدین جمشید کاشانی.» تحقیقات اسلامی، شمارهٔ ۱و۲. ص ۲۷۷-۳۱۸.

هیث، توماس ال. اصول اقلیدس سیزده مقاله. (۱۳۸۸ش). محمدهادی شفیعیها. تهران:مرکز نشر دانشگاهی.

Bennett, Jim A. (1998). "Quadrant," *Instruments of Science: an Historical Encyclopedia*. Edited by Robert Bud & Deborah Jean Warner. Nmsi Trading Ltd, Smithsonian Institution. pp. 501-503.

Fineusa Orontius.(1544). *Orontii Finaei ... Quadratura circuli, tandem inuenta & clarissime demonstrata*. Available in Biblioteca de la Universidad de Sevilla, Retrieved from https://archive.org/details/ARes352132/page/n75.

Kheirandish, E. (1998). *The Arabic Version of Elucid's Optics.* vol 1. New York City: Springer-Verlag.

Lewis, M.J.T. (2004). *Surveying instruments of Greece & Rome.* Cambridge: Cambridge University Press.

Ptolemy, C. (1984). *Ptolemy's Al-Magest.* Translated & Annotated by G.J. Toomer. London: Gerald Duckworth & Co.Ltd.

Saili, A. (1960). *The Observatory in Islam.* Ankara: the Turkish Historical Society. [Reprinted in Fuat Sezgin, *Islamic Mathematics & Astronomy*, vol. 97, Frankfurt, 1998].

———— . (1956). "Al-Khazini's Treatise on Astronomical Instruments." *Ankara Universitesi Dil ve Tarih-Cografya Fakultesi Derigisi*. vol.14. pp. 15-19.

Sezgin, Fuat. (2010*). Science and Technology in Islam.* vol. II. Frankfurt: the Institute for the History of Arabic-Islamic.

Tekeli, Sevim. (Jan 2007). "*Al-Urdi's Article on "the quality of Observation"*." Foundation for science technology & civilization, Retrieved from http://muslimheritage.com/article/al-urdis-article-quality-observation.