تاریخ و تمدّن اسلامی، سال نهم، شماره هجدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۲، ص ۱۲۳-۱۳۹

اجزاء فواره‌های خودکار: میزاب، مُقَلَّب و نصف‌طَرجَهار
بر پایه کتاب *الطرق السنیّة فی الآلات الروحانیّة*[۱]

سعید نظری[۲]
دانشجوی دکتری دانشگاه بین المللی امام خمینی، گروه تاریخ و تمدن ملل اسلامی، قزوین، ایران
علی غفرانی
استادیار دانشگاه فردوسی مشهد، گروه تاریخ و تمدن ملل اسلامی، مشهد، ایران
ایرج نیک‌سرشت
استادیار دانشگاه تهران، پژوهشکده تاریخ علم، تهران، ایران

چکیده

طراحی فواره‌هایی که به‌طور خودکار و در فواصل زمانی مشخص تغییرشکل می‌دهند، یکی از مباحثی است که از نظر اصول طراحی و اجزای به کار رفته در آن، با شاخه ظروف جادویی (الاوانی العجیبة) علم الحیل (متفاوت با حیل شرعی و تقریبا معادل با مهندسی مکانیک) قرابت دارد. این فواره‌ها هم‌چون ظروف جادویی، با استفاده از یک دستگاه کنترل مکانیکی مخفی، دارای خواص شگفت‌انگیزی بوده‌اند. خاصیت شگفتی‌آور این فواره‌ها همان تغییر شکل فوران آن‌ها به صورت خودکار و در فواصل زمانی معین است. سه نمونه از این‌گونه فواره‌ها، در کتاب *الطرق السنیّة فی الآلات الروحانیة*، تألیف تقی‌الدین محمد بن معروف ملقب به راصد (د۹۹۳هـ/ ۱۵۸۵م)، دانشمند بزرگ قرن دهم و منجم‌باشی رصدخانه استانبول، آمده است. از آن‌جا که تغییرشکل فوران این فواره‌ها، به‌واسطه دستگاه کنترل مکانیکی مخفی آن‌ها، صورت می‌گرفته، برای درک بهتر عملکرد این دستگاه‌ها، لازم است که اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها به‌طور مجزا بررسی شوند. در مقاله حاضر، سه مورد از مهم‌ترین این اجزا شامل میزاب، مُقَلَّب و نصف-طَرجَهار معرفی و بررسی شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: علم الحیل، فواره، ظروف جادویی، میزاب، مقلّب، نصف‌طَرجَهار.

---

۱. تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۶.
این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسندهٔ مسؤول با عنوان «جایگاه فواره در تکنولوژی مسلمانان، با تاکید بر آثار بنی موسی، ابوالعز جزری و تقی الدین راصد» به راهنمایی دکتر علی غفرانی و مشاورهٔ دکتر ایرج نیک سرشت است که در دانشگاه فردوسی مشهد تدوین و دفاع شده است.
۲. نویسنده مسؤول، رایانامه:saeednazarihistory@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

فواره‌ها یکی از اجزای تزئینی معماری اسلامی بوده‌اند. ساخت این فواره‌ها به اشکال گوناگون در قصرها و باغ‌های امیران و فرمانروایان اسلامی هم‌چون پیشینیان آن‌ها در ایران و روم، امری رایج بوده است.[۱] استفاده گسترده از فواره‌ها در معماری قصرها و عمارت‌های مجلل و هم‌چنین علاقه خلفا و حاکمان اسلامی به دستگاه‌های عجیب و پیچیده[۲]، دانشمندان را بر آن داشت، تا فواره‌هایی طراحی کنند که به‌طور خودکار و منظم تغییرشکل دهند. از این رو امروزه شاهد نمونه‌هایی از این‌گونه فواره‌ها، در سه کتاب مهم در زمینه علم الحیل، هستیم. *الحیل* بنی‌موسی بن شاکر خراسانی (قرن ۳هـ)، *الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعة الحیل* تألیف بدیع-الزمان جزری(د۶۰۲هـ)، و *الطرق السنیة فی الآلات الروحانیة*، نوشته تقی‌الدین راصد (د۹۹۳هـ).کتاب تقی‌الدین، در واقع ادامه دهنده سنت دو کتاب دیگر است که هم‌زمان با عصر رنسانس در اروپا و در سال ۹۵۹هـ/ ۱۵۵۱م[۳] به رشته تألیف درآمده است.

کتاب *الطرق السنیة* مشتمل بر شش باب و یک مقدمه است. باب نخست آن به «بنکامات» یا ساعت‌ها اختصاص دارد که در آن به شرح چهار ساعت مختلف می‌پردازد. باب دوم درباره «دستگاه‌های بلند کردن اجسام سنگین» (جرّاثقال) بوده که سه شیوه کاربردی این علم، در آن آمده است. نویسنده در باب سوم تدابیر لازم برای انتقال آب از بستر رودخانه به نواحی بالاتر را با شرح چهار دستگاه بیان می‌کند. طبق گفته مصحح، فقط تصاویر این بابِ کتاب، بدون نقص کشیده شده‌اند.[۴] باب چهارم به شرح دستگاه‌های نی‌زنی دائمی در کنار شرح چهار فواره (یک فواره ساده و سه فواره خودکار) اختصاص دارد. باب پنجم به یازده وسیله مفرح و جالب متفرقه، چون جام عدل می‌پردازد. در باب ششم نیز ساخت سیخ کبابی توضیح داده شده که به‌طور خودکار بر روی آتش می‌چرخد.

از این کتاب تنها یک نسخه در کتابخانه چستربیتی ایرلند به شماره MS 5232 موجود است که احمد یوسف حسن، با استفاده از میکروفیلم این نسخه، آن را به‌صورت فاکسی میله به چاپ رسانیده و تعلیقاتی بر آن افزوده است.

---

1. parker, 306.

۲. ابن ابی اصیبعه، ۲۸۶.

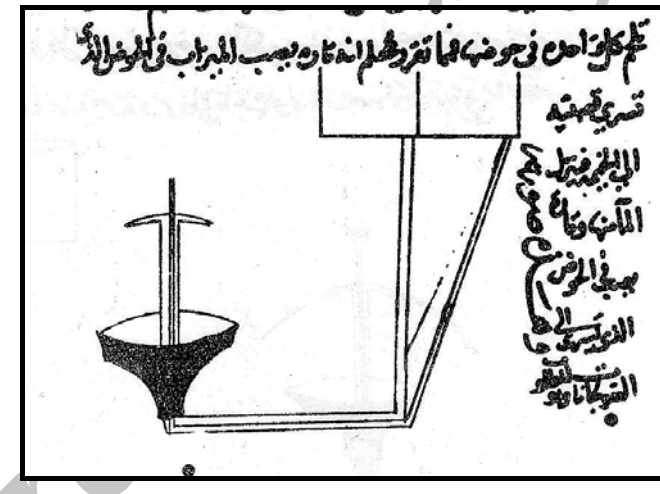
۳. حسن، تعلیقات *الطرق السنیة*، ۱۸.

۴. همو، ۳۸.

Archive of SID

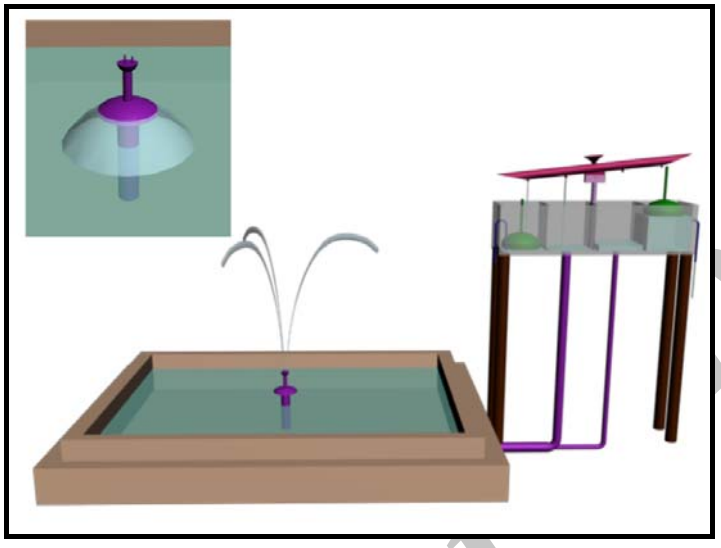
www.SID.ir

تقی‌الدین باب چهارم کتاب خود را به فواره‌ها و دستگاه‌های نی‌زنی خودکار اختصاص داده است. وی در کنار یک فواره ساده و بدون تغییرشکل، طرح سه فواره با تغییر شکل خودکار را آورده است. فواره‌های خودکار تقی‌الدین، به‌مانند طرح‌های بنی‌موسی و جزری، دو حالت فوران دارند و با گذشت مدتی مشخص، این دو حالت به یکدیگر تبدیل می‌شوند. به عنوان مثال فواره دوم تقی‌الدین (شکل۱) برای مدتی شبیه به «چوب‌چوگان» (شبیه به یک عصا) فوران می‌کند. پس از گذشت مدتی مشخص، حالت فوران «خیمه»ای (شبیه به چتر)، به‌آرامی، جایگزین حالت قبل می‌شود. با گذشت مدتی مشخص، این بار حالت فوران «خیمه»ای فروکش کرده و فورانی شبیه به «چوب‌چوگان» آغاز به کار می‌کند. این تغییر شکل فوران تا زمانی که آب ورودی به این فواره‌ها قطع و یا دستگاه خراب نمی‌شد، ادامه پیدا می‌کرده است.



شکل۱- تصویر فواره دوم کتاب *الطرق السنیة*

www.SID.ir



شکل۲- تصویر بازسازی شده فواره دوم کتاب *الطرق السنیة*

فواره‌های مذکور، تغییر شکل خودکار و منظم خود را مرهون دستگاه‌های کنترل مکانیکی بوده‌اند که به دور از چشم ناظران قرار می‌گرفته است. این دستگاه‌ها از اجزایی تشکیل شده که پیش از فواره‌ها، در دستگاه‌های خودکار دیگر نیز به کار رفته و در واقع دارای هویت مستقلی بوده‌اند؛ به عنوان مثال، خوارزمی در *مفاتیح العلوم* و یا بیرونی در *آثار الباقیة* به صورت مستقل به تشریح عملکرد سارقةالماء یا مقلّب پرداخته‌اند. در مقاله حاضر، سه مورد از این‌گونه اجزا، شامل میزاب، مُقَلَّب و نصف‌طَرجَهار که پیش از فواره‌های تقی‌الدین، در دستگاه‌های خودکار دیگر نیز به کار رفته‌اند، بررسی می‌گردد.

۱. میزاب

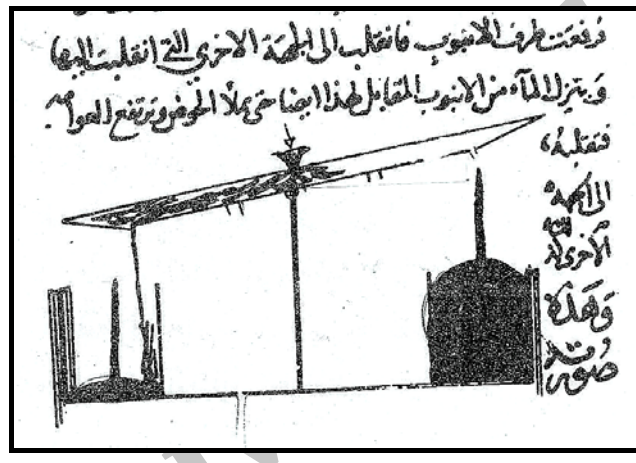
میزاب، لوله افقی و نسبتا باریکی است که وزن دو طرف آن با هم برابر بوده و حول نقطه میانی‌اش حرکتی شبیه به الاکلنگ دارد. ورودی این لوله، حفره‌ای در بالای وسط آن است که قیفی بر روی آن لحیم می‌شود. خروجی آن نیز عبارت است از یک یا دو نازل[۱] در انتهای هر

۱. در فواره چهارم تقی‌الدین استثنائا سه نازل در هر طرف دیده می‌شود.

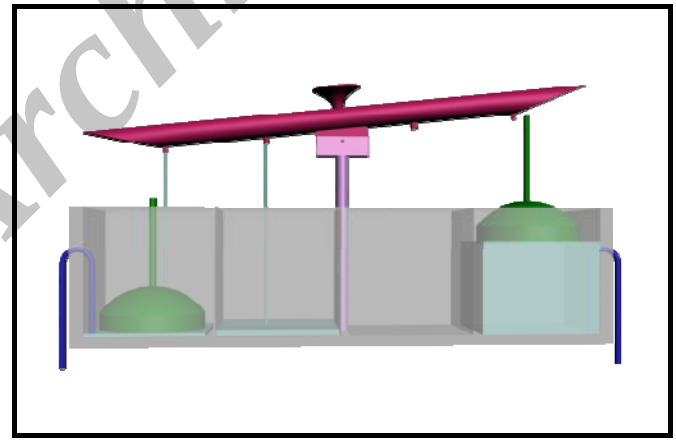
Archive of SID

www.SID.ir

یک از دو طرف لوله. آب ورودی به این لوله تعادلی، ابتدا از نازل‌های یک سمت آن خارج می‌شود. پس از مدتی معین، به کمک یک دستگاه مکانیکی، میزاب به سمت مخالف متمایل و آب ورودی به آن، از نازل‌های سمت دیگر خارج می‌شود. از میزاب در مواردی استفاده می‌شده که طراح قصد داشته، آب ورودی را به‌نوبت و در فواصل زمانی مشخص، به یکی از دو خروجی دستگاه برساند؛ به عنوان مثال، در فواره‌ها، برای ایجاد دو شکل از فوران، که به طور منظم جایگزین هم شوند، از دو حوضچه چسبیده به هم، با میزابی در وسط آن‌ها استفاده می‌شده و این میزاب، آب ورودی را به‌نوبت، به داخل یکی از این دو حوضچه می‌ریخته است (شکل۳).



شکل۳- تصویر میزاب در دستگاه کنترل شناور کتاب *الطرق السنیة*

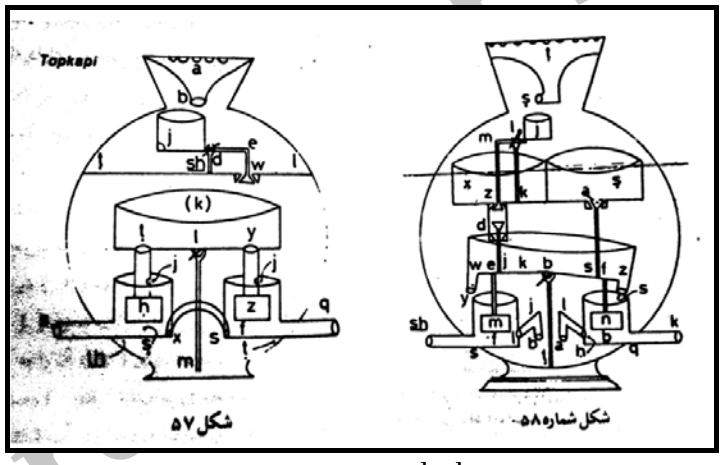


شکل۴- تصویر بازسازی شده میزاب در دستگاه کنترل شناور تقی‌الدین

Archive of SID

www.SID.ir

در میان منابع مکتوب دوره اسلامی در زمینه علم الحیل، اولین بار بنی‌موسی از محفظه‌ای تعادلی با دو خروجی در دو طرف، در طراحی دستگاه‌های کنترل ظروف جادویی استفاده کرده‌اند. این محفظه تعادلی که مسلما منبع الهام دانشمندان بعدی در طراحی میزاب بوده، در دو طرح شماره ۵۷ و ۵۸[۱] کتاب *الحیل* بنی موسی به کار گرفته شده است (شکل۵). در طرح ۵۷ آبی که به داخل ظرف ریخته می‌شود از یکی از خروجی‌ها خارج می‌شود و در صورت مسدود شدن آن خروجی، آب از خروجی دوم تخلیه می‌گردد. طرح ۵۸ نیز شبیه به طرح ۵۷ بوده با این تفاوت که دو مایع پشت سر هم در ظرف ریخته می‌شود. یکی از این دو مایع از یک خروجی شروع به خارج شدن می‌کند. اگر خروجی مذکور مسدود شود، مایع دوم، از خروجی بعدی خارج می‌شود و در صورت مسدود شدن خروجی دوم، مایع اول، از خروجی اول خارج می‌گردد. این مهم با استفاده از دستگاهی صورت می‌گیرد که در شکل زیر نشان داده شده و مهم‌ترین جزء این دو دستگاه، محفظه تعادلی است.



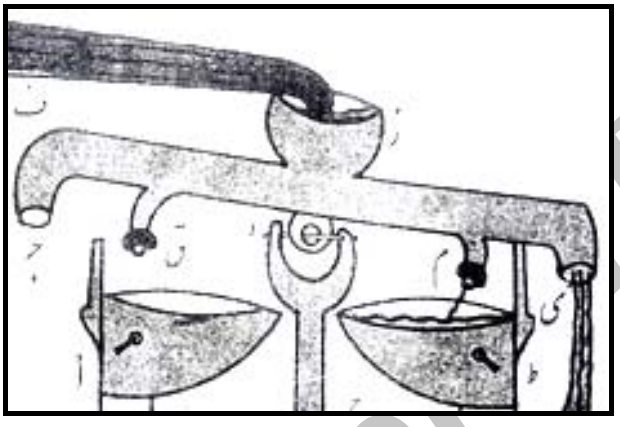
شکل۵- محفظه‌های تعادلی k وb در طرح‌های ۵۷ و ۵۸ *کتاب الحیل* بنی‌موسی

پس از بنی‌موسی، جزری از لوله میزاب در پنج فواره (از شش فواره) خود استفاده کرده است.[۲] میزاب به کار رفته در طرح‌های جزری، در واقع شکل تکامل یافته محفظه تعادلی بنی‌موسی است (شکل۶). پس از جزری، تقی‌الدین از میزابی در سه فواره خودکار خود استفاده

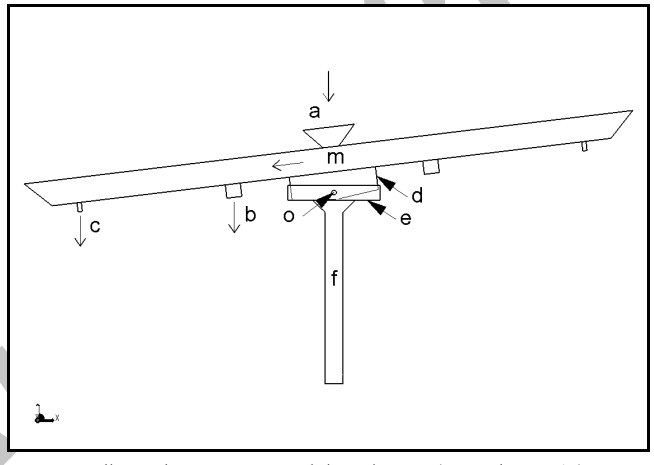
۱. بنی‌موسی، ۱۸۹ و ۱۹۴.
۲. جزری، ۳۹۴، ۳۹۹، ۴۰۲، ۴۰۶ و ۴۱۴.

www.SID.ir

کرده که بسیار شبیه به طرح جزری است (شکل۷) و می‌توان گفت که تقی‌الدین میزاب خود را براساس آموزه‌های جزری ساخته است. با این وجود، تفاوت‌هایی میان این دو شکل میزاب دیده می‌شود که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.



شکل۶- تصویر میزاب طراحی شده توسط جزری



شکل۷- طرح ساده میزاب طراحی شده توسط تقی‌الدین

الف. اولین تفاوت بین دو میزاب جزری و تقی‌الدین، اختلاف در شکل ظاهری آن‌هاست. در میزاب طراحی شده توسط تقی‌الدین، دو انتهای لوله m بسته است و آب از طریق دو نازل bو c، در دو طرف میزاب خارج می‌شود؛ اما در میزاب جزری، انتهای خمیده لوله میزاب، کار

www.SID.ir

نازل بزرگ‌تر را انجام می‌دهد و نازل کوچک‌تر، برخلاف طرح تقی‌الدین، به میانه لوله نزدیک‌تر است.

میزاب طراحی شده توسط جزری، از لحاظ کارکرد، بهتر از میزاب تقی‌الدین است. در واقع شکل طراحی میزاب جزری به‌گونه‌ای است که در زمان مشخص، آب بیشتری وارد حوضچه ورودی فواره‌ها می‌شود، حال آن‌که در میزاب تقی‌الدین به علت ریزش آب به داخل حوضچه ورودی فواره‌ها از نازل b، میزان آب ورودی به حوضچه، قطعا کمتر خواهد بود که این امر می‌تواند بر ارتفاع و شکل زیبای فواره تأثیر منفی بگذارد. برای روشن شدن موضوع باید گفت، بعد از تمایل میزاب تقی‌الدین به یک سمت، نازلc پایین‌تر از نازل b قرار می‌گیرد، از آن‌جا که افت فشار در فاصله کوتاه بین دو نازل، چندان قابل ملاحظه نیست، از این رو سرعت آب در نقطه c بیشتر از نقطه b خواهد بود. میزان آب خروجی از نازل‌ها با سرعت رابطه مستقیم دارد، به همین سبب می‌توان گفت که در میزاب تقی‌الدین به دلیل افزایش سرعت آب خروجی از نازل c، بیشتر آب از این نازل خارج می‌شود و آب کمتری از نازل b وارد حوضچه فواره می‌گردد. این امر باعث می شود که فواره‌ها شکل کاملی پیدا نکنند.

ب. تقی‌الدین برخلاف جزری، درباره شیوه ساخت تکیه‌گاه میزاب توضیحی ارائه نکرده است؛ حال آن‌که در میزاب طراحی شده توسط تقی‌الدین، از آن‌جا که تکیه‌گاه، علاوه بر حفظ تعادل میزاب، وظیفه کنترل حرکت الاکلنگی آن را بر عهده دارد، از اهمیت زیادی برخوردار است. تقی‌الدین فقط از حلقه‌ای در زیر میزاب یاد کرده که بر روی میله‌ای عمودی ثابت شده[۱] و از ارائه توضیحات بیشتر خودداری کرده است. اما جزری، طبق شیوه همیشگی خود، این قسمت را دقیق و واضح شرح داده است: «محوری زیر آن لوله، و وسط آن و نسبت به لوله، ثابت نصب می‌شود، دو انتهای این محور در دو یاتاقان حرکت می‌کند؛ یاتاقان‌ها بر تکیه‌گاه ثابتی قرار دارند و تکیه‌گاه روی دیواره بین دو مخزن برپاست».[۲]

نگارنده با الهام از توضیحات جزری، یک تکیه‌گاه برای میزاب تقی‌الدین طراحی کرده است (شکل۷). به علت آن‌که تقی‌الدین از هیچ وسیله بازدارنده‌ای برای کنترل میزان کج شدن میزاب استفاده نکرده، تکیه‌گاه بازسازی شده به‌گونه‌ای طراحی شده که میزاب را در زاویه مشخصی از کج شدن، ثابت نگه می‌دارد. این تکیه‌گاه متشکل از دو قطعه d و e بوده که به-

۱. «رَزَّةٌ مُثبَتَةٌ فی عَمودٍ قائِمٍ»، تقی‌الدین، ۳۹.

۲. جزری، ۳۹۵.

Archive of SID

www.SID.ir

وسیله پین o به یکدیگر متصل شده‌اند. قطعه d که مکعب مستطیلی کتابی شکل است، در قسمت میانی زیر لوله m لحیم می‌شود. زیر قطعه d به دو طرف کمی شیب دارد تا ضمن ایجاد امکان تمایل میزاب، میزان کج شدن آن را نیز کنترل کند. زمانی که میزاب به یک سمت تمایل پیدا می‌کند، یکی از دو سطح شیب‌دار این قطعه، کاملا بر کف تکیه‌گاه مماس شده از کج شدن بیشتر آن جلوگیری می‌کند. این قطعه را قطعه e در برمی‌گیرد که شبیه جلد کتاب و به شکل U است. پین o که در داخل قطعه d ثابت شده، در داخل بلبرینگ‌هایی بر روی دیواره قطعه e می‌چرخد و حرکت میزاب را ممکن می‌سازد.

۲. مُقَلَّب (سیفون)

مقلّب یا سیفون، لوله‌ای خمیده به شکل U برعکس است که از آن برای تخلیه کامل محتوای یک ظرف حاوی مایع استفاده می‌شود. این ابزار که در گذشته نیز آن را به همین منظور به کار می‌بردند، در هر سه دستگاه کنترل فواره تقی‌الدین به چشم می‌خورد. بنی‌موسی از مقلّب در طراحی برخی ظروف جادویی (طرح‌های شماره ۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۴، ۳۲، ۴۱، ۴۲، ۴۷، ۵۲، ۵۳، ۵۸، ۶۳ *کتاب الحیل*) استفاده کرده است.[۱] جزری نیز در طراحی ظروف جادویی خود، در دستگاه‌های چهارم، ششم و هشتم از نوع دوم[۲] و دستگاه‌های دوم، سوم و چهارم از نوع سوم[۳] از مقلّب بهره برده است. وی هم‌چنین در دستگاه کنترل دستگاه‌های نی‌زنی خودکار خود مقلّب را به کار برده‌است.[۴] اما هم بنی‌موسی و هم جزری، در دستگاه کنترل فواره‌ها، روش دیگری را برای تخلیه آب انتخاب نموده‌اند. از این رو استفاده از مقلّب در دستگاه کنترل فواره‌ها از سوی تقی‌الدین را می‌توان نوعی نوآوری نسبت به آثار پیش از وی دانست.

مقلّب از دیرباز در میان دانشمندان و حتی عموم مردم، شناخته بوده است. خوارزمی در *مفاتیح العلوم* آن را «سحّاره» نامیده و در توصیف آن گفته است: «یکی از ابزارهای اهل این فن [فن ساخت ظروف جادویی] است که عامه مردم آن را "سارقةالماء" می‌نامند». و آن «لوله‌ای خمیده است که از شیشه یا غیر آن ساخته شده، یک سر آن را در آب یا دیگر مایعات می-

۱. بنی‌موسی، ۹، ۵۵، ۵۸، ۶۳، ۸۲، ۱۰۳، ۱۳۱، ۱۳۴، ۱۵۲، ۱۷۲، ۱۷۵، ۱۹۴ و ۲۱۸.
۲. جزری، ۲۵۷، ۲۸۰ و ۲۹۵.
۳. همو، ۳۲۳، ۳۳۲ و ۳۴۱.
۴. جزری، ۴۲۶، ۴۳۰ و ۴۳۳.

Archive of SID

www.SID.ir

گذارند و از سر دیگرش می‌مکند تا آب داخل آن شود و از سری که در دهان است فرو ریزد، این ریزش تا هنگامی که سر لوله در آب باشد، پیوسته ادامه دارد و این عمل ممکن نمی‌شود مگر هنگامی که سر لوله‌ای را که می‌مکند از سطح آب پایین‌تر باشد. زیرا اگر از سطح آب بلندتر باشد، آب ریزش نمی‌کند».[۱]

بیرونی در *آثار الباقیة* در مورد این وسیله چنین می‌نویسد: «آلتی را که سارقةالماء نامند... چون آن را پر از آب کنیم و دو سر آن را در دو ظرف که سطح آب این دو یکی باشد بگذاریم، آبی که درون این آلت است، می‌ایستد و اگر زمان زیادی هم بگذرد به هیچ یک از دو ظرف نمی‌ریزد، چرا که اختلاف ارتفاعی وجود ندارد... چون یک طرف سارقةالماء را در ظرفی که کمی پایین‌تر باشد بگذاریم، آب به سمت آن ظرف جریان می‌یابد... از آن‌جا که اجزای آب یکدیگر را جذب می‌کنند، جریان پیوسته ادامه می‌یابد تا زمانی که آب ظرف تمام شود و یا سطح آب داخل ظرف با سطح خروجی لوله موازی شود».[۲]

جزری آن را «مقلّب» و «جادوگر مصری»[۳] نامیده و برای ساخت آن لوله مسی باریکی را از وسط خم کرده تا به شکل U شود. بنا به گفته وی این عمل باید به‌گونه‌ای باشد که «یک طرف آن، نیم گره[۴] بلندتر از طرف دیگر باشد».[۵] تقی‌الدین آن را به چوب چوگانی «که سر (قسمت بعد از خمیدگی) آن بلندتر باشد» تشبیه کرده، جنس آن را از مس تعیین نموده و در شرح عملکرد آن گفته است: «زمانی که طرف کوتاه‌تر آن در داخل ظرف و طرف بلندتر آن بیرون از آب قرار بگیرد، اگر از طرف بلندتر آن به‌وسیله مکش آب کشیده شود و یا آب آن را فرابگیرد به نحوی که لوله بلندتر پر شود و آب از آن خارج گردد، به دلیل وجود خلأ، کلیه آب داخل ظرف، خود به خود کشیده می‌شود».[۶]

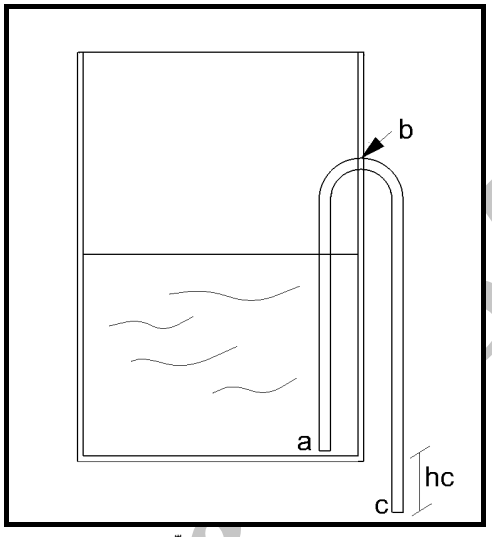
همان‌طور که مشاهده می‌شود، جزری و تقی الدین معتقدند که می‌باید یک طرف مقلّب بلندتر از طرف دیگرش باشد اما خوارزمی و ابوریحان بیرونی، پایین‌تر بودن طرف خارجی مقلّب

۱. خوارزمی، ۲۵۱.
۲. بیرونی، ۳۲۷.
۳. «سحارهٔ مصری».
۴. «عقد».
۵. جزری، ۵۱.
۶. تقی‌الدین، ۳۹.

Archive of SID

www.SID.ir

و یا سطح آب در ظرف مقصد، نسبت به سطح آب در ظرف مبدأ را کافی دانسته‌اند و تأکیدی بر اختلاف ارتفاع دو طرف مقلّب ندارند. برای روشن شدن درستی این ادعاها کافی است معادله برنولی برای ورودی مقلّب در کف ظرف (نقطه a) و خروجی مقلب (نقطه c) نوشته شود.



شکل۸- طرح ساده یک مقلّب یا سیفون

معادله برنولی برای یک جریان تراکم‌ناپذیر، بی‌اصطکاک و دائمی و در طول یک خط جریان به صورت زیر است:

$$gh + \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} = const$$

سمت راست معادله، ثابت برنولی است که در طول یک خط جریان و شرایط بالا، ثابت می‌ماند. در سمت چپ معادله، جمله اول، انرژی پتانسیل بر واحد جرم و h ارتفاع نقطه مورد نظر از مبدأ است. جمله دوم، انرژی جنبشی بر واحد جرم و v سرعت جریان در آن نقطه بوده و جمله سوم، انرژی جریانی بر واحد جرم است.[۱] با تقسیم جملات بر g ، هر یک از جملات، انرژی بر واحد وزن خواهد بود که واحد آن متر است ($\gamma = \rho g$):

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h = const$$

۱. استریتر، ۱۲۹.

Archive of SID

www.SID.ir

حال اگر بخواهیم این معادله را برای دو نقطه a وc بنویسیم، داریم:

$$\frac{p_a}{\gamma}+\frac{V_a^2}{2g}+h_a=\frac{p_c}{\gamma}+\frac{V_c^2}{2g}+h_c$$

$$p_a=\gamma H \quad , \quad p_c=0 \quad , \quad V_a=0 \quad , \quad h_a=0$$

$$\frac{V_c^2}{2g}+h_c=H$$

$$V_c=\sqrt{2g(H-h_c)}$$

طبق رابطه به‌دست آمده از معادله برنولی، سرعت خروج آب از نقطه c با اختلاف ارتفاع نقطه خروجی (c) و سطح آب، رابطه مستقیم دارد. به عبارت دیگر برای آن‌که آب در مقلّب جریان یابد، می‌بایست نوک طرف خارجی آن (نقطه c) از سطح آب داخل ظرف پایین‌تر باشد. هرچه نقطه c پایین‌تر از سطح آب قرار بگیرد، سرعت و در نتیجه میزان آب خروجی ازنقطه c افزایش خواهد یافت. هم‌چنین اگر نقطه c هم‌سطح یا بالاتر از سطح آب باشد، آب به بیرون جریان پیدا نخواهد کرد.

بر اساس توضیحات فوق، لازم نیست که طرف خارجی مقلّب بلندتر از طرف داخلی آن باشد؛ همین که طرف بیرونی مقلّب از سطح آب داخل ظرف پایین‌تر باشد، جریان به خارج از ظرف، از طریق لوله مقلّب ادامه خواهد یافت. با این شرایط سخن خوارزمی و بیرونی کاملا درست بوده است. البته نظر جزری و تقی‌الدین نیز اشتباه نیست؛ در دستگاه‌هایی که ایشان از مقلّب استفاده کرده‌اند، مقلّب برای تخلیه کامل محتویات ظرف بکار می‌رفته است. یعنی چون سطح آب داخل ظرف تا کف آن پایین می‌آمده، برای تخلیه کامل ظرف، معقول است که طرف بیرونی مقلّب (که باید پایین‌تر از سطح آب داخل ظرف باشد)، پایین تر از کف ظرف قرار بگیرد و این بدان معناست که طرف خارجی مقلّب می‌بایست بلندتر از طرف داخلی آن باشد.

اساس کار مقلّب یا سیفون به این ترتیب است که یک طرف این لوله خمیده، در ظرف مایع و طرف دیگر آن بیرون ظرف باشد. با خروج اولین قطرات آب از نقطه c (به علت مکش یا

Archive of SID

www.SID.ir

بالا آمدن سطح آب)، محتویات داخل ظرف شروع به خارج شدن می‌کنند. این عمل که به علت اختلاف فشار میان ورودی و خروجی مقلب انجام می‌شود، تا زمانی که خروجی مقلب پایین‌تر از سطح آب داخل ظرف باشد، ادامه خواهد یافت. چنان‌چه نقطه a در کف ظرف و نقطه c پایین‌تر از کف ظرف باشند، کلیه محتویات داخل ظرف تخلیه خواهد شد.

بیرونی علت تخلیه خودبه‌خودی کل آب داخل ظرف را پیوستگی بین ذرات آب می‌داند. تقی‌الدین نیز در تحلیل خود از عملکرد مقلب، علت این امر را وجود خلأ می‌داند. این دو نظر نمی‌تواند درست باشد و علت اصلی همان پایین‌تر بودن طرف خارجی مقلّب از سطح آب و وجود اختلاف فشار بین دو سر آن است.

۳. نصف‌طَرجَهار

طَرجَهار، طَرجَهارَة یا طَرجَهالَه، معرب کلمه فارسی «تِرکِهار» یا «تِرکِهارَن» (به معنای ظرفی که در آن دوغ را سفت می‌کنند)؛ کاسه‌مانندی بوده که با آن آب می‌خورده‌اند. برخی آن را با پنگان یا فنجان کوچک برابر دانسته‌اند.[۱] مشخصا طرجهار عبارت بوده است از ظرف یا کاسه کوچک فلزی دایره‌شکلی که گودی آن زیاد نیست (تقریبا مشابه ظرف‌های آبخوری برنجی قدیمی در سقاخانه‌ها). اما «نصف‌طرجهار» نامی است که از سوی تقی‌الدین برای ابزاری انتخاب شده که پیش از وی «کفه» خوانده می‌شده است. جزری، که خود را مخترع آن می‌داند، بارها در کتابش آن را «کفه» نامیده و از آن به طور گسترده، در طراحی ظروف جادویی استفاده کرده است. در دستگاه‌های سوم، چهارم، هفتم، هشتم و دهم از نوع دوم[۲] (ظروف و مجسمه-های مناسب مجالس شربت‌خوری) و دستگاه‌های دوم از نوع سوم[۳] (آفتابه‌ها و تشت‌ها و نظایر آن)، نمونه‌هایی از کفه به چشم می‌خورد. جزری آن را به شکل «نصف یک طاس» توصیف کرده، و در توضیح آن آورده است: «قسمت بالایی آن عریض است و رو به سمت مرکز، باریک می‌شود. از یک نیم‌دایره درازتر است و همانند نصف یک قایق به نظر می‌آید».[۴]

۱. دهخدا، ۲۰۲/۳۲.
۲. جزری، ۲۳۵، ۲۵۷، ۲۸۸، ۲۹۵ و ۳۰۶.
۳. همو، ۳۲۳.
۴. همو، ۸۴.

Archive of SID

www.SID.ir

برای روشن شدن مطلب و تصور بهتر کفه یا نصف‌طرجهار و هم‌چنین علت نام‌گذاری «نصف‌طرجهار» برای این ظرف می‌توان گفت که اگر «طرجهار» یکی از ظرف‌های برنجی قدیمی که در سقاخانه‌ها برای آبخوری استفاده می‌شد، در نظر گرفته شود، «نصف‌طرجهار» عبارت است از ظرف برنجی که از وسط برش خورده و در راستای عمود بر خط برش، کمی خمیده و سپس یک ورق بر لبه‌های برش‌خورده، لحیم شده باشد.

تقی‌الدین در باب اول کتاب خود، برای اولین بار از «نصف‌طرجهار» نام برده که در زمان مشخص یک ساعت پر می‌شود و به محض پر شدن، از حالت تعادل خارج و تمام آب داخلش از قسمت جلوی آن خارج می‌گردد.[۱] نویسنده در ادامه توضیح می‌دهد که این نصف‌طرجهار بر روی دو محور روبه‌روی هم که در دو پهلوی آن واقع شده‌اند، به‌گونه‌ای سوار می‌شود که در زمان خالی بودن، موازی با افق بایستد. البته قابل ذکر است که تقی‌الدین در باب چهارم که مورد بحث ماست، می‌نویسد «نصف‌طرجهاری که بر محوری سوار شده...».[۲] همان‌طور که مشاهده می‌شود، تقی‌الدین به‌جای دو محور در طرفین نصف‌طرجهار از یک محور به‌تنهایی یاد کرده است. این موضوع گرچه در ظاهر با قسمت قبل متفاوت است، اما در عمل، یک محور که از دو جانب نصف‌طرجهار بگذرد، می‌تواند کار آن دو محور روبروی هم را انجام دهد.

در طراحی کفه یا نصف‌طرجهار، نکته‌ای که باید مورد توجه قرار بگیرد این است که نصف‌طرجهار تا زمانی که به اندازه کافی پر نشده، نباید از حالت تعادل خارج شود. لازمه این مهم آن است که پایین ظرف به‌گونه‌ای سنگین شود که برآیند گشتاور خود ظرف نصف‌طرجهار و گشتاور آب داخل آن، حول محور، در لحظه قبل از واژگون شدن صفر باشد. پیش از واژگون شدن نیز باید گشتاور ظرف از گشتاور آب بیشتر باشد. به عبارت دیگر، طراحی کفه باید به‌گونه‌ای باشد که تا لحظه پیش از واژگونی، کفه تمایل داشته باشد رو به عقب واژگون شود اما با قرار دادن یک قطعه نگهدارنده، از چرخش خلاف جهت آن جلوگیری می‌شود.

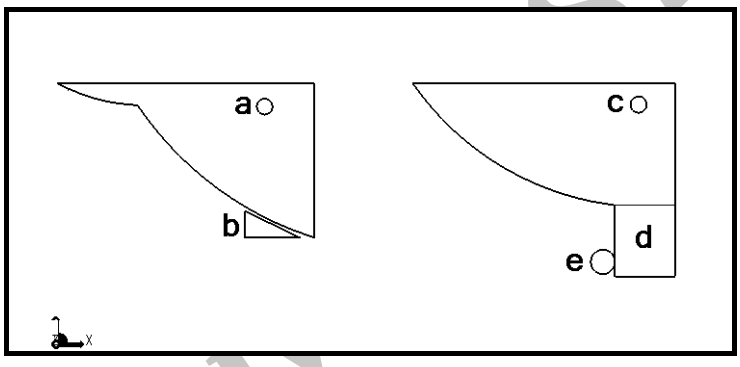
جزری در طراحی کفه (نصف‌طرجهار) سنگین بودن ته ظرف را این‌گونه توضیح می‌دهد: «پس از آن‌که کفه به‌صورت توصیف شده ساخته شد، در تکمیل آن با استفاده از یک قطعه سرب به وزن تقریبی صد درهم، وزن کفه در جهت مرکز آن که قسمت انتهایی آن است

۱. تقی‌الدین، ۲۰.
۲. همو، ۴۲.

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش داده می‌شود».[۱] در واقع جزری با افزودن یک وزنه سربی به پایین کفه (d)، این مسأله را حل نموده، اما تقی‌الدین با تغییر در فرم کفه و گودتر نمودن قسمت انتهایی آن قصد داشته که جهت گشتاور آب داخل کفه را برعکس کند؛ یعنی نصف‌طرجهار تقی‌الدین تا لحظه قبل از واژگونی، به علت حجم بیشتر آب در انتهای آن، تمایل دارد که به سوی عقب واژگون شود. گفتنی است که در طرح تقی‌الدین خبری از قطعه نگهدارنده‌ای که مانع چرخش کفه شود نیست. این در حالی است که بدون این قطعه (b)، کارکرد این کفه‌ها با مشکل مواجه می‌شود. جزری در طرح خود، قطعه مذکور را رسم کرده، اما طرز قرار دادن این قطعه به شیوه جزری، به‌طور کامل مانع چرخش کفه به هر طرفی می‌شود. در طرح ساده زیر، این قطعه (e) در جای صحیح خود رسم شده است.



شکل۱۶- طرح ساده نصف طرجهار (کفه)های طراحی شده توسط جزری (c) و تقی الدین (a)

جمع‌بندی

تقی‌الدین راصد در دورانی که علم و تکنولوژی در اروپا روندی رو به رشد در پیش گرفته بود، کتابی در زمینه علم الحیل به رشته تحریر درآورد که تقریبا حرف جدیدی برای گفتن نداشت. وی در باب چهارم کتاب خود، *الطرق السنیة فی الآلات الروحانیة*، فواره‌هایی طراحی کرده که هم از نظر اجزای به کار رفته و هم از نظر اصول طراحی، تقلیدی از کار پیشینیان و به‌ویژه بدیع-الزمان جزری است. سه آلت از اجزای فواره‌ها که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، پیش از تقی‌الدین، در طرح‌های بنی‌موسی و یا جزری به کار رفته است. مقلب در طرح‌های ظروف

۱. جزری، ۹۱.

www.SID.ir

جادویی *کتاب الحیل* بنی‌موسی به طور گسترده استفاده شده است. جزری نیز در ظروف جادویی و دستگاه‌های نی‌زنی خودکار خود از این وسیله استفاده کرده است. بنی‌موسی و جزری مقلب را در دستگاه کنترل فواره‌های خودکار خود به کار نبرده‌اند، اما تقی‌الدین برای تخلیه آب هر سه دستگاه کنترل فواره‌اش از مقلب استفاده کرده است.

میزاب، به صورت لوله باریک تعادلی که دارای حرکت الاکلنگی است، اولین بار در کتاب جزری آمده است. با این حال نمی‌توان این نکته را نادیده گرفت که لوله میزاب جزری، شکل تکامل یافته محفظه تعادلی است که در ظروف جادویی شماره ۵۷ و ۵۸ بنی‌موسی به کار رفته است. میزاب طراحی شده توسط تقی‌الدین تفاوت‌هایی جزئی با میزاب جزری دارد که همین تا حدی موجب کاهش از کارایی آن شده است.

نصف‌طَرجَهار یا کفه، ابداع خود جزری است و اولین بار توسط او طراحی گردیده است. جزری در طراحی دستگاه‌های خودکار متعددی، از این وسیله استفاده کرده است. تقی‌الدین در کفه جزری تغییراتی ایجاد نموده و آن را نصف‌طرجهار نامیده و در یکی از دستگاه‌های کنترل فواره‌اش استفاده کرده است. در این مورد نیز، تغییرات تقی‌الدین در شکل کفه‌ها از کارایی آن تا حدی کاسته است.

کتابشناسی

ابن ابی اصیبعه، موفق‌الدین ابی‌العباس احمد بن بلقاسم الخزرجی، *عیون الانباء فی طبقات الاطباء*، بیروت، دار مکتبة الحیاة، ۱۹۶۵م.

استریتر، ویکتور لایل، *مکانیک سیالات*، ترجمه غلامرضا ملک زاده و دیگران، بی جا، نشر نما، ۱۳۸۶ش.

بنی موسی بن شاکر، *کتاب الحیل*، تصحیح احمد یوسف الحسن، حلب، معهد التراث العلمی العربی، ۱۹۸۱م.

بیرونی، ابوریحان، *آثار الباقیة عن القرون الخالیة*، مصحح پرویز اذکائی، تهران، مرکز نشر میراث مکتوب، ۱۳۸۰ش.

تقی‌الدین، محمد بن معروف، *تقی‌الدین و الهندسة المیکانیکیة العربیة مع کتاب الطرق السنیة فی الآلات الروحانیة*، تحقیق احمد یوسف الحسن، حلب، معهد التراث العلمی العربی، ۱۹۷۶م.

جزری، ابوالعز اسمعیل بن رزّاز، *الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعة الحیل*، تصحیح احمد یوسف الحسن، حلب، معهد التراث العلمی العربی، ۱۹۷۹م.

Archive of SID

www.SID.ir

خوارزمی، محمد بن احمد بن یوسف کاتب، *مفاتیح‌العلوم*، تصحیح فان فلوتن، لیدن، بریل ۱۸۹۵م.
دهخدا، علی اکبر، *لغتنامه*، زیر نظر محمد معین، سازمان لغتنامه، تهران، ۱۳۴۳ش.

Parker, Samuel Thomas, *The Roman Frontier in Central Jordan*, V.2, Washington DC, Dumbarton Oaks Research Library and Collection, 2006.

SID