

نخستین دستگاه‌های کنترل خودکار در یونان باستان و دوره اسلامی^۱

آتیلایر^۲

ترجمه حمیدرضا نفیسی^۳



آتیلایر

قدیم‌ترین دستگاه کنترل خودکار که به صورت فنی و مفید و قابل فهم با قابلیت عملیاتی طراحی و آزمایش شد متعلق به یونان باستان است. کهن‌ترین کاربردهای کنترل شدت جریان در ساعت‌های آبی بود. این دستگاه، که آن را کتسی بیوس^۴ اسکندرانی در حوالی سده سوم پیش از میلاد ابداع کرد، سطح آب مخزن را تنظیم می‌کند، شبیه کاربراتور خودروهای جدید که جریان بنزین را تنظیم می‌کنند (شکل ۱). کار این دستگاه ثابت نگهداشتن شدت جریان آب از یک ظرف در یک دستگاه ساعت، مستقل از تغییرات سطح و فشار آب با استفاده از شیر توپی شناور بود. از کتسی بیوس نوشته‌ای به جا نمانده، اما بازسازی دستگاه کنترلش از طریق گزارش‌ها و محاسبات ویتروویوس^۵ مهندس مشهور رومی امکان‌پذیر است.

فیلون بیزانسی^۶، نسلی جوان‌تر از کتسی بیوس (حدود ۲۰۰ ق م)، در اثری با عنوان نیوماتیکا^۷ مثال‌هایی از دستگاه‌های کنترل خودکار سطح روغن در شمع‌های روغنی عرضه می‌کند. در این

1. A. Bir; First Applications of Automatic Control in Antiquity and Medieval Engineering, TOK, Off-Print, Eksen Yayıncılık, İstanbul, 2009.

۲. Atilla Bir استاد تاریخ علم دانشگاه سلطان محمد فاتح استانبول، atilabir@gmail.com

۳. کارشناس مهندسی مکانیک، hr2nafissi@yahoo.com

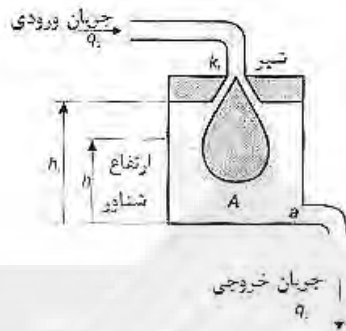
4. Ctesibius

5. Vitruvius

6. Philo of Byzantium

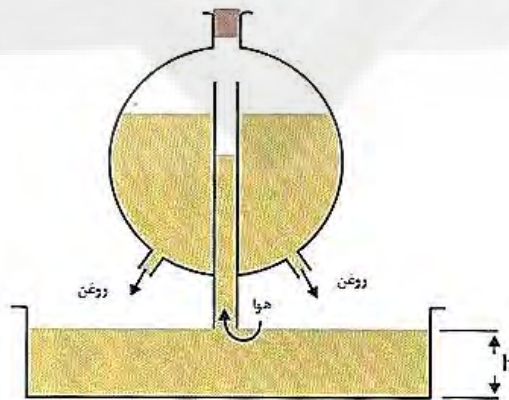
7. Pneumatica

دستگاه، با ورود مقداری هوا به محفظه بسته هوای مخزن روغن، ارتفاع سطح روغن h کنترل و ثابت نگه‌داشته می‌شود. شایان توجه است که امروزه کتاب نیوماتیکا تنها به صورت دست‌نوشته عربی در کتابخانه سلیمانیه (ایاصوفیه ۲۷۵۵ و ۲۷۱۳) موجود است.



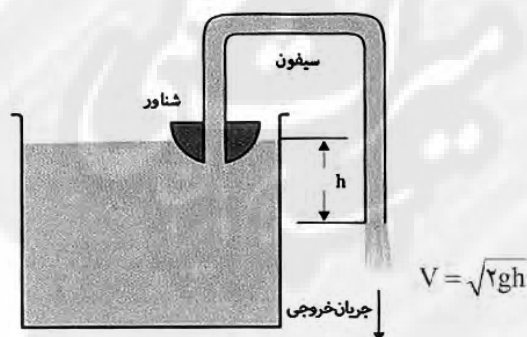
شکل ۱: طرح کتسی بیوس برای تنظیم شدت جریان

سومین نام در تاریخ کنترل خودکار هرون اسکندرانی است که در سده اول پیش از میلاد زندگی می‌کرد. او هم در کتابی به نام نیوماتیکا، دستگاه‌های با کنترل خودکار و همچنین مبحث خودکار را در مفهوم امروزی شرح می‌دهد. این وسایل خودکار برای سرگرمی، جلب توجه در معابد باستانی یا تأمین آب حمام‌ها طراحی می‌شد، و در دوره‌های مختلف به‌ویژه توجه دانشمندان اسلامی را جلب کرد. در بسیاری از دستگاه‌های کنترل، اصولی که در بالا شرح داده شد به کار رفت. دستگاه سیفون شناور، که باعث سرعت جریان خروجی ثابت مایع v می‌شود کاربرد جالبی از تنظیم‌کننده جریان است (شکل ۲). سیفون‌های شناور قاعدتاً در ساعت‌های آبی به کار می‌رفت.



شکل ۲: طرح فیلون برای تنظیم ارتفاع سطح روغن

پیشرفت علمی که در یونان باستان به اوج خود رسید، در کاخ‌های بیزانس از درخشش افتاد. خلفای عباسی در بغداد بار دیگر مشعل علم را برافروختند. محمد، حسن و احمد که به بنو موسی یا فرزندان موسی بن شاکر خراسانی شناخته شده‌اند در تاریخ فناوری خیلی معروفند.^۱ آن‌ها در پیشرفت علوم ریاضی در عهد خلافت مأمون عباسی (۱۹۸-۲۱۸ق) و جانشینانش نقش مهمی داشتند. احتمالاً علاقه احمد به فناوری آن‌ها را به نوشتن کتابی با عنوان کتاب الحیل (۲۳۵ق) (کتاب دستگاه‌های مکانیکی) ترغیب کرده است. دست‌نوشته (A ۳۴۷۴) موجود در کتابخانه احمد دوم قصر توپکاپی (استانبول) رونوشت تقریباً کاملی شامل شرح انواع ظروف سحرآمیز، فواره‌های آب، چراغ‌های روغنی، چگالی سنج، دمنده هوا و نوعی دستگاه بالابر است. علم ساخت «دستگاه‌های ابتکاری» و «دستگاه‌های خودکار» با استفاده از مواد، آب و هوا علم آلات الروحانية (علم دستگاه‌های نیوماتیک^۲) خوانده می‌شد. به نوشته محمد بن ابراهیم بن اکفانی، «علم دستگاه‌های نیوماتیک با طرح‌ریزی دستگاه‌های زیادی مبتنی بر «مکش ناشی از خلأ» سروکار دارد. هدف، تربیت ذهن از طریق طراحی دستگاه‌هایی است که با ظروف اندازه‌گیری شده، سیفون‌ها و دیگر اجزا سروکار دارند.»



شکل ۳: تنظیم کننده جریان خروجی ثابت

کتاب الحیل برادران بنو موسی ۱۰۰ دستگاه را شرح می‌دهد که ۱۸ تایی آن‌ها دستگاه کنترل خودکارند. در بررسی دقیق، این دستگاه‌های کنترل از نظر فنی کامل و قابل استفاده در کاربردهای جدید هستند. اکنون بعضی از آن‌ها را به تفصیل مطالعه می‌کنیم.

۱. کتاب بنو موسی به زبان عربی درباره دستگاه‌ها توسط ا. ی. الحسن و همکاران تصحیح شده است: کتاب الحیل، حلب ۱۹۸۱؛ و همچنین ترجمه و نگارش فارسی توسط سرفراز غزنی در ابتکارات خارق العاده مکانیکی یا الحیل، شرکت به نشر، چاپ اول ۱۳۷۴ ش؛ و نیز کتاب الحیل، بنو موسی بن شاکر، تحلیل از منظر مهندسی کنترل، آتیلا بیر، مقدمه و ترجمه غلامحسین رحیمی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۱۳۸۹ را ببینید. - م

۲. دستگاه‌هایی که عامل انتقال حرکت در آن‌ها به صورت گاز (بخار، هوا، ...) است. - م

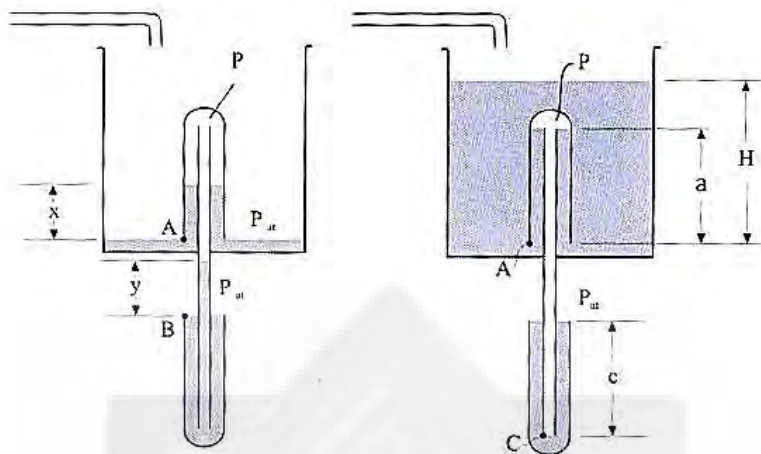
یکی از جالب‌ترین تجهیزات شرح داده شده توسط بنوموسی، سیفون دوسر است، این جزء اصلی استفاده شده در دستگاه‌های مختلف از دو سیفون هم‌محور تشکیل شده است (شکل ۴). در ابتدا این جزء اصلی مانند یک سیفون ساده کار می‌کند، اما وقتی وقفه‌ای در مایع ورودی به مخزن ایجاد شود (و تخلیه مایع مخزن به طور کامل انجام گیرد) مسیر جریان مجدد مایع در سیفون دوسر مسدود می‌شود، یعنی این عضو اصلی در این مرحله همانند کلید عمل می‌کند. (در واقع با ورود دوباره مایع) ارتفاع سطح مایع ریخته شده به داخل مخزن از بالاترین نقطه سیفون دوسر بیش‌تر می‌شود. در این حالت در ارتفاعی خاص (از مایع درون مخزن) سیفون بالایی شروع به هدایت مایع به سیفون دوم هم‌محور می‌کند. در این صورت مایع سرریز شده از لبه بالایی سیفون دوم به داخل ظرفی در زیر آن می‌ریزد. جریان مایع تا زمانی که شدت جریان ورودی برای تأمین جریان خروجی کافی باشد ادامه می‌یابد.

اگر ریختن مایع ورودی برای مدتی قطع شود، سطح مایع در مخزن تا انتهای A پایین می‌آید و هوا وارد سیفون بالایی می‌شود (شکل ۴، چپ را ببینید). در این لحظه مقداری مایع از سیفون بالایی به مخزن باز می‌گردد (شکل ۴، راست) و وضعیت تعادل جدیدی پدید می‌آید.

هنگامی که مایع دوباره به مخزن دارای سیفون ریخته شود، هوای (با فشار کم‌تر از اتمسفر) داخل سیفون بالایی به وسیله فشار (مایع به سمت سیفون پایینی رانده و (به تدریج با افزایش ارتفاع مایع داخل مخزن) فشرده (دارای فشار بیش‌تر از اتمسفر) می‌شود. سپس با راندن ستونی از مایع به ارتفاع $y + c$ از سیفون پایینی، هوای فشرده به صورت حباب از نقطه C شروع به خارج شدن می‌کند چنان که در شکل ۴، راست دیده می‌شود. ارتفاع H که مایع در مخزن باید به آن برسد ارتفاعی است که سبب شروع دوباره جریان پیوسته از سیفون می‌شود.

برای جلوگیری از عبور دوباره جریان از سیفون دو سر، ارتفاع مخزن سیفون باید کم‌تر از $(a+c)$ باشد (و برای این که کلید از سر راه برداشته شود و اجازه عبور جریان دوباره در چنین مخزنی که ارتفاعش از $(a+c)$ کم‌تر است داده شود باید سیفون دوسر به طور کامل از مایع خالی شود).

سیفون دوسر که اصل فیزیکی اش در بالا عرضه شد در دستگاه‌ها نقش زیر را بازی می‌کند: وقتی جریان مایع که با شدت ثابت در مسیر معینی جریان دارد، برای مدت زمانی متوقف شود، سیفون دوسر (در این مخزن با ارتفاع کم‌تر از $(a+c)$ از عبور جریان مایع در آن مسیر هنگامی که دوباره جریان مایع ورودی شروع شود جلوگیری می‌کند. این جزء اصلی مسئله ذخیره کردن مایع‌های مختلف در مخازن جداگانه را حل می‌کند.



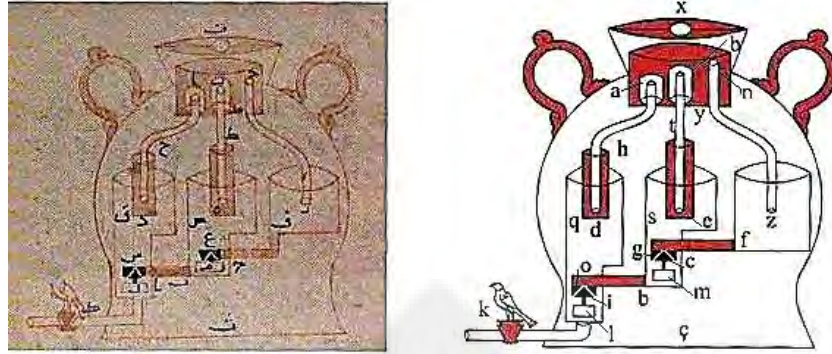
شکل ۴: سیفون دو سر در انتهای حالتی که نقش سیفون را دارد (چپ)، در انتهای حالتی که نقش کلید را دارد (راست).

در ادامه مثالی عرضه می‌کنیم که چطور سیفون دو سر به عنوان جزء اصلی دستگاه‌ها استفاده می‌شود.

دستگاه ۴۳- نوعی ظرف (مسی) که با باز کردن شیر آن سه مایع مختلف را به نوبت، به همان ترتیب که پیش‌تر در آن ریخته شده‌اند بیرون می‌ریزد (شکل ۵).

اولین مایع که از طریق سوراخ x به داخل ظرف ریخته می‌شود به مخزن بالایی ظرف که حاوی دو سیفون دوسر و یک لوله سرریز است، جاری می‌شود. سیفون دو سر $a-d-h$ که سطح بالای آن پایین‌تر از سیفون دو سر دیگر است، مایع اول را که به طور پیوسته به داخل ظرف ریخته می‌شود به مخزن q می‌فرستد. شناور l داخل این مخزن بالا می‌آید و شیر را می‌بندد. مایع دوم، که بعد از یک وقفه کوتاه از طریق سوراخ x به داخل ظرف ریخته می‌شود، از مسیر سیفون دوسر $b-e-t$ که ارتفاع بیش‌تری دارد به مخزن s منتقل می‌شود، زیرا مسیر سیفون دو سر $a-d-h$ مسدود شده است. شناور داخل مخزن s نیز بالا می‌آید و شیر c را می‌بندد. مایع سوم که به داخل ظرف ریخته می‌شود از بالای لوله سرریز n به داخل مخزن z جاری می‌شود زیرا مسیرهای سیفون‌های دو سر a و b مسدودند.

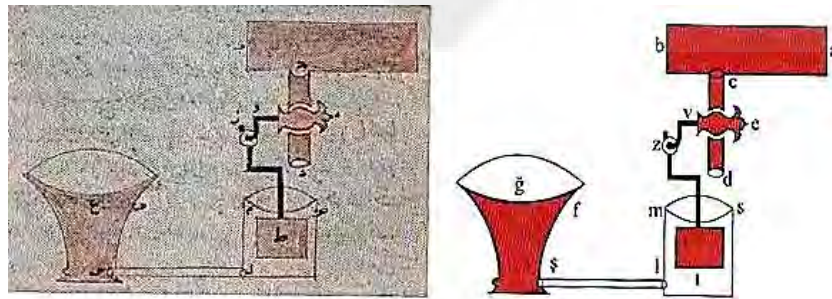
هرگاه در پایان پر کردن ظرف از سه مایع شیر k باز شود، نخست مایع مخزن q بیرون می‌ریزد. با خالی شدن آن مخزن، شناور l پایین می‌آید و شیر o_i باز می‌شود. مایع دوم از مخزن s با پیمودن مسیر $b-o-i-k$ بیرون می‌ریزد. شناور m با خالی شدن مخزن s پایین می‌آید و شیر g_c نیز باز می‌شود. سرانجام مایع سوم از مخزن z با پیمودن مسیر $f-g-c-b-o-i-k$ بیرون می‌ریزد.



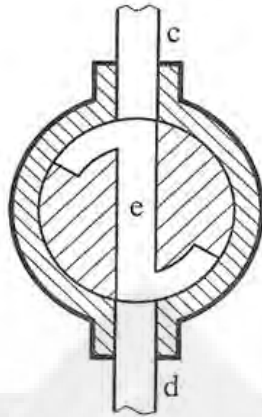
شکل ۵: چپ تصویر اصلی، راست ترسیم کامپیوتری

دستگاه ۷۵- آبشخوری که هرگاه مردم از آن آب بردارند یا حیوانات از آن آب بیاشامند، ارتفاع سطح آب خود را ثابت نگه‌می‌دارد (شکل ۶):

آب از منبع یا رودخانه a-b توسط لوله c-d به آبشخور گ در نزدیکی آن منتقل می‌شود. در انتهای لوله c-d شیر کنترل v-e قرار دارد. سطح مقطع شیر کنترل v-e در شکل ۷ دیده می‌شود. میل‌لنگی که به مغزی شیر کنترل v-e وصل است توسط حلقه z به شناور t مرتبط است. مادامی که آبشخور گ و مخزن m که با لوله l-s متصلند، خالی باشند؛ شناور t لنگ z-v را پایین می‌کشد و شیر کنترل را باز نگه‌می‌دارد (سطح مقطع مغزی شیر را در شکل ۷ ببینید). آب از لوله c-d بیرون ریخته و ابتدا به داخل مخزن m و سپس با پیمودن لوله l-s به داخل آبشخور گ نیز جاری می‌شود. آب با تبعیت از قانون ظروف مرتبطه در آبشخور گ و مخزن m با ارتفاع یکسان بالا می‌آید به طوری که به کمک میل‌لنگ، شناور t شروع به چرخاندن مغزی شیر کنترل می‌کند. هنگامی که سطح آب به f-s برسد مغزی شیر کنترل بسته شده و بیرون ریختن آب متوقف می‌شود. هرگاه مردم از آبشخور آب بردارند و یا حیوانات از آن بیاشامند، با کاهش سطح آب، شناور t پایین می‌آید، شیر باز می‌شود و به همان مقدار آبی که برداشته شده از لوله c-d به داخل مخزن m می‌ریزد.



شکل ۶: چپ تصویر اصلی، راست تصویر کشیده شده با کامپیوتر

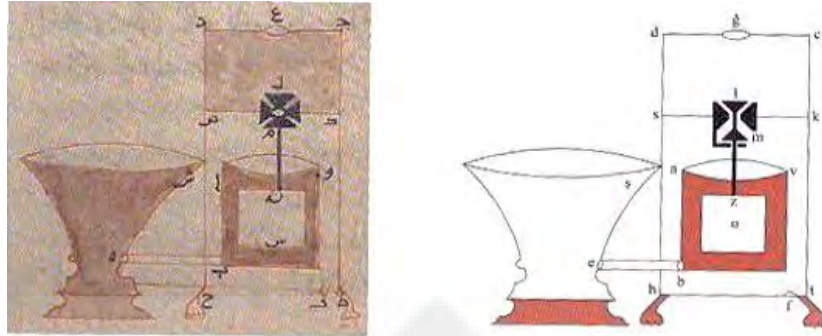


شکل ۷: سطح مقطع شیر کنترل و مغزی آن^۱

دستگاه ۷۷- حوضچه (یا آبشخوری) که هرگاه شراب موجود در آن در هر بار به مقدار کم برداشته شود ارتفاع سطح شراب بدون تغییر ثابت می ماند و هرگاه به یکباره مقدار زیاد برداشته شود حوضچه خالی می شود (شکل ۸):

مخزن بالایی در پشت حوضچه از طریق سوراخ g پر از شراب می شود. هرگاه مرحله پر کردن مخزن بالایی پایان یافت، مقداری هم شراب از بیرون به دهانه حوضچه ریخته می شود. حوضچه و ظرفی که در بالای آن شیر شناور ۲ درجه ای قرار دارد، با لوله $e-b$ به هم مرتبطند. با بالا آمدن ارتفاع سطح شراب در حوضچه و ظرف مرتبط با آن به وسیله لوله $e-b$ ، شناور o نیز بالا می آید و دریچه بسته شده l باز می شود (شیر شناور ۲ درجه ای $l-m$ که بازسازی آن در شکل ۱۱- راست نشان داده شده است این ویژگی را دارد که در یک محدوده ارتفاع سطح شراب قابل کنترل است). شراب از مخزن بالایی به ظرف و حوضچه که با لوله $e-b$ به هم مرتبطند، جاری می شود. هرگاه ارتفاع سطح شراب به ارتفاع مرجع یا مبنا برسد، که با طول ساق میانی ۲ درجه $l-m$ در شیر معین می شود، دریچه m بسته و جریان شراب متوقف می شود. هنگامی که شراب از حوضچه هر بار به مقدار کم برداشته شود، اگر کاهش ارتفاع کم تر از طول ساق $l-m$ شیر باشد، دستگاه با باز و بسته کردن دریچه m ارتفاع سطح مرجع شراب را تأمین می کند و هرگاه به یکباره مقدار زیاد شراب برداشته شود و کاهش ارتفاع شراب از طول ساق $l-m$ شیر تجاوز کند، دریچه l بسته می شود و ارتفاع شراب در حوضچه دیگر قابل کنترل و تأمین نیست. برای فعال کردن دوباره شیر باید مقداری شراب از خارج در دهانه حوضچه ریخته شود.

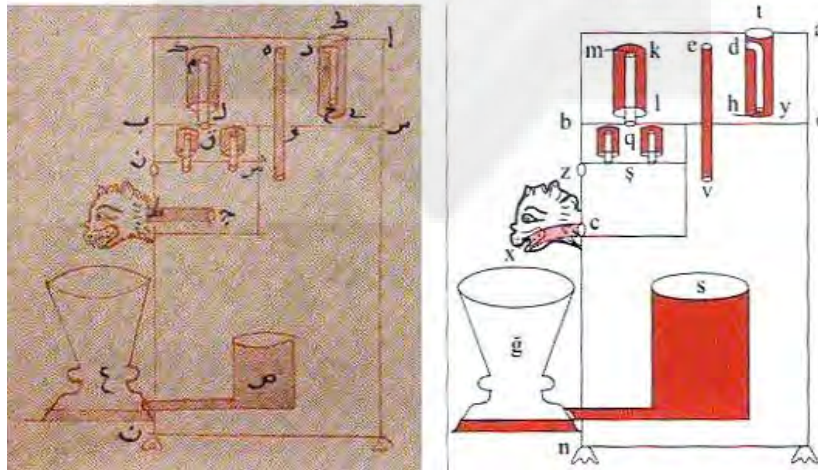
۱. به این دستگاه در متون کهن «جام عدل» گفته اند.



شکل ۸: چپ، تصویر اصلی؛ راست، تصویری که با کامپیوتر ترسیم شده است.

دستگاه ۸۶- حوضچه (یا آبشخوری) با سر حیوانی بالای آن که هرگاه در حوضچه شراب ریخته شود حیوان هم شروع به تخلیه شراب از دهان به حوضچه می‌کند و هرگاه شراب ریختن متوقف شود حیوان هم متوقف می‌شود (شکل ۹):

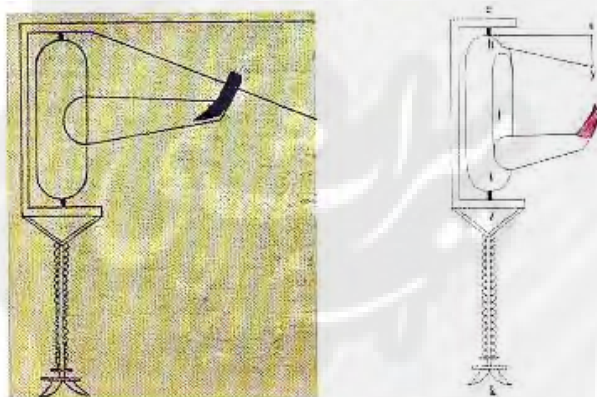
شرابی که از سوراخ t به دستگاه پشت سر حیوان ریخته شود از مسیر t-h-d عبور کرده و در مخزن بالایی k جمع می‌شود. هرگاه ارتفاع سطح شراب در مخزن بالایی k به انتهای m از سیفون برسد، شراب شروع به جریان یافتن به قسمت q می‌کند که حاوی دو سیفون است. شراب از بالای این سیفون‌ها به مخزن c-s جریان می‌یابد، از لوله c-x عبور می‌کند و از دهان حیوان به بیرون و سپس به داخل حوضچه g می‌ریزد. حوضچه g و ظرف s به وسیله لوله به هم مرتبطند. هرگاه شراب در حوضچه g، انتهای لوله بین g و s را بپوشاند از ورود هوا به دستگاه جلوگیری می‌شود و شراب خروجی از دهان حیوان متوقف می‌شود.



شکل ۹: سمت چپ، تصویر اصلی؛ سمت راست تصویری که با کامپیوتر رسم شده است.

اگر مقداری شراب از بیرون به داخل حوضچه^۱ ریخته شود، فشار هوای ایجاد شده در دستگاه^۱ با خروج شراب از مخازن k و q از طریق سیفون‌ها، با فشار شراب اضافی در حوضچه^۱ متعادل می‌شود. این روال تا ارتفاع شراب در ظرف s به انتهای بالای حوضچه^۱ برسد، ادامه می‌یابد. دستگاه ۹۸ - یک چراغ روغنی که (در وزش باد) خاموش نمی‌شود زیرا همیشه پشت آن به طرف باد قرار می‌گیرد (شکل ۱۰):

چراغ روغنی به یک ورق نیم‌استوانه بسته می‌شود که از چراغ در برابر باد محافظت کند. در شکل اصلی چراغ با بازوی بلند و ارتفاع زیاد رسم شده است. ورق نیم‌استوانه به پایه $k-z-e$ از طریق یاتاقان‌های h و t متصل شده است. برای این که ورق نیم‌استوانه با چرخش پشت به باد قرار بگیرد، یک بال مثلی شکل $h-a-y$ به ورق نیم‌استوانه متصل می‌شود (در شکل اصلی بال به اشتباه به انتهای بالایی پایه متصل است، وضعیت صحیح در تصویر رسم شده با کامپیوتر دیده می‌شود).



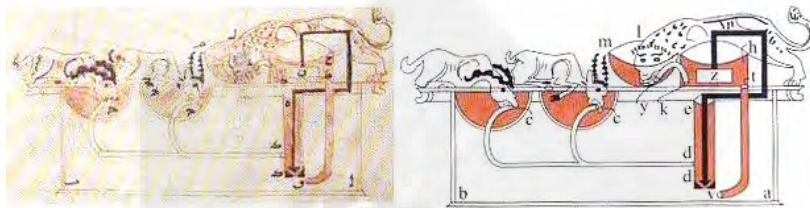
شکل ۱۰: سمت چپ تصویر اصلی، سمت راست تصویری که با کامپیوتر رسم شده است.

دستگاه ۵ - روی جعبه‌ای (نمایشی)، یک شیر و دو بُز کوهی، در حالی که نشسته‌اند به سوی ظرف‌های خود خم شده و منتظرند، اگر آب در ظرف‌های جلوی بزهای کوهی ریخته شود، آن‌ها تنها زمانی می‌توانند آب را بیاشامند که در ظرف شیر نیز آب ریخته شود و شیر آشامیدن آن را تمام کند (شکل ۱۵):

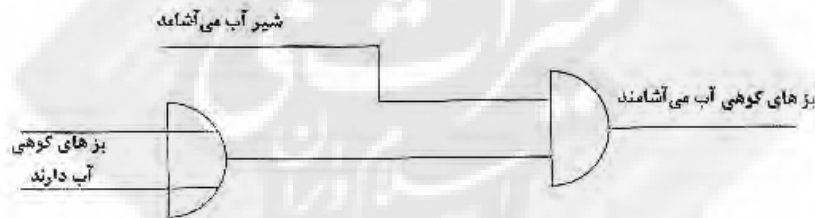
روی جعبه $a-b$ ، یک شیر و دو بُز کوهی در حالی که نشسته‌اند به سمت ظرف‌های جلوی‌شان خم شده‌اند. آبی که در ظرف‌های بزهای کوهی ریخته شود از مسیر لوله‌های $c-c-d$ نیز جریان می‌یابد، این لوله‌ها از داخل دهان بزهای کوهی آغاز و به مخزن $e-d$ ختم می‌شود که انتهای آن با

۱. هوای داخل دستگاه محبوس است. - م

دریچه $d-v$ مسدود است. هرگاه آب در ظرف جلوی شیر هم ریخته شود و سطح ارتفاع این آب تا بالاترین ارتفاع سیفون داخل دهان شیر برسد، آب داخل ظرف به مخزن h درون شیر تخلیه می‌شود. با بالا رفتن شناور Z در مخزن h ، بازویی که به شناور متصل است دریچه v را باز می‌کند. در نتیجه، به محض این‌که شیر آب خود را آشامید، بزهای کوهی نیز می‌توانند آب ظرف‌های خود را بیاشامند. آب مخزن h داخل بدن شیر از طریق سوراخ t با عبور از لوله $t-v$ به داخل جعبه تخلیه می‌شود. هرگاه ارتفاع شناور Z کاهش یابد دریچه v متصل به شناور بسته می‌شود و دستگاه به وضعیت اولش برمی‌گردد.



شکل ۱۱: سمت چپ، تصویر اصلی؛ سمت راست، تصویری که با کامپیوتر ترسیم شده است.



شکل ۱۲: نمودار منطقی دستگاه شماره ۵

ساعت‌های آبی مصر باستان در دوران کلاسیک باستان به طور پیوسته تکمیل شد و در دوران یونانیان ابعاد وسیعی یافت. این سنت تا دوره اسلامی کشیده شد و با جزری که در رساله‌اش بدیع‌الزمان ابو العز اسماعیل بن الرزّاز الجزری معرفی شده است، به اوج خود^۲ رسید. او در حکومت اُرتُقی شهر آمد (دیاربکر) به عنوان مهندس به خدمت دربار درآمد و به خاطر کتاب الحیل (کتاب دستگاه‌های ابتکاری) خود مشهور است، جزری در این کتاب طراحی، ساخت و اصول عملکرد پنجاه دستگاه مختلف با کاربرد عملی و ارزش هنری، شامل ساعت‌های آبی، آدمک

۱. قاعدتاً این لوله از سیفون داخل دهان شیر باریک‌تر و مخزن h نیز پایین‌تر از ظرف جلوی شیر است. - م

2. D. R. Hill, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices*, D. Reidel. Dordrecht, Boston, 1974.

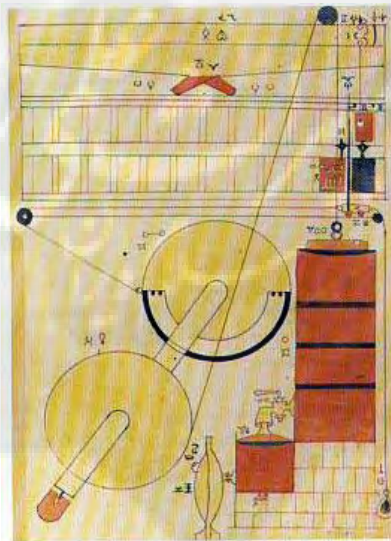
ابو العز بن اسماعیل الجزری، الجامع بین العلم والعمل النافع فی صناعة الحیل، تصحیح توسط ا. ی. الحسن و همکاران، حلب، ۱۹۷۹؛

ترجمه فارسی با عنوان: مبانی نظری و عملی مهندسی مکانیک در تمدن اسلامی، ترجمه و تحشیه م. ج. ناطق و همکاران، مرکز نشر

دانشگاهی، ۱۳۸۰. - م

مصنوعی، فواره‌ها، ظروف سنجش خون‌گیری، دستگاه‌های بالابر آب و قفل و کلیدهای رمزی را شرح کرد. او در مقدمه رساله‌اش می‌گوید که در خدمت ملک ناصرالدین محمود (۵۹۷-۶۱۹ق) از حکمرانان ارتقی و پیش از آن به مدت بیست و پنج سال خدمت پدرش ملک نورالدین محمد (۵۷۰-۵۸۱ق) و برادرش قطب‌الدین سُکمان دوم (۵۸۲-۵۹۷ق) بود. جزری کتابش را در ۶۰۲ق تکمیل کرد. امروزه در کتابخانه احمد سوم در قصر توپکاپی دست‌نوشته‌ای به شماره (A ۳۴۷۲) رونویسی شده از دست‌نوشته اصلی وجود دارد و کتاب دارای شش بخش (یا نوع) هست و پنجاه دستگاه مختلف را شرح می‌دهد.

از یازده دستگاه ساعت شرح داده شده در کتاب، دو دستگاه به صورت ساعت‌های با شدت جریان خودکار آب هستند. این ساعت‌ها دارای تنظیم کننده ابداعی کتسی بیوس هستند. اما به مناسبت اصل اسلامی مبنی بر تقسیم زمان بین طلوع و غروب خورشید به دوازده قسمت مساوی لازم بود یک سازوکار تنظیم کننده مرجع (یا مینا) به دستگاه اضافه کنند^۱ (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

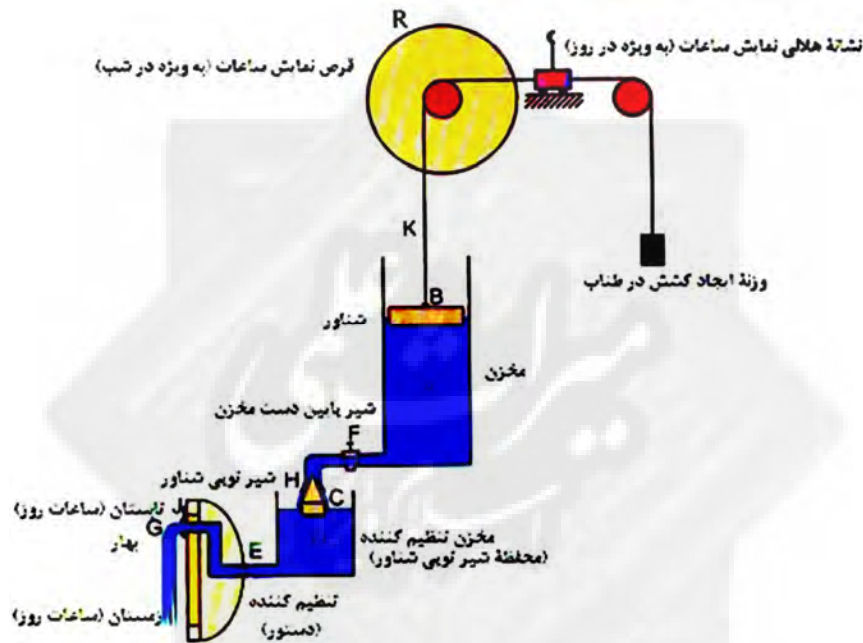


شکل ۱۳: تصویر از پشت سازوکار ساعت آبی (دست‌نوشته A ۳۴۷۲، برگ ۱۸پ)

مقدار آب مورد نیاز برای به حرکت درآوردن سازوکار ساعت در بخشی از یک روز یا برای دوازده ساعت، در یک مخزن نگهداری می‌شود. اگر آب از آن با سرعت ثابت به خارج جریان یابد، ارتفاع سطح آب مخزن گذشت زمان را از طلوع خورشید یا زمان باقی‌مانده تا غروب خورشید را

۱. همان‌جا، ترجمه فارسی، ص ۱۹-۳۷، ۵۲۳-۵۲۵. - م

مشخص می‌کند. ارتفاع سطح آب در مخزن به وسیلهٔ ریسمان متصل به شناور به قرص و نشان هلالی نمایش دهندهٔ زمان منتقل می‌شود. به انتهای دیگر ریسمان وزنه‌ای برای تأمین اصطکاک لازم برای چرخش صفحهٔ ساعت متصل است. با طلوع خورشید، مأمور ساعت شیر پایین دست مخزن را باز می‌کند و آب به داخل محفظهٔ تنظیم کننده که در واقع محفظهٔ حاوی شیر توپی شناور است جریان می‌یابد. چون لولهٔ خروجی محفظهٔ تنظیم کننده باریک‌تر از لولهٔ ورودی بدان است ارتفاع سطح آب در آن بالا می‌آید و شیر توپی شناور جریان آب از لولهٔ ورودی را می‌بندد.



شکل ۱۴: تجهیزات ساعت آبی جزری و سازوکار کنترل شدت جریان از طریق تنظیم مینا

بدین ترتیب در زمان کوتاهی یک شرایط پایدار به وجود می‌آید که حجم آب ورودی و خروجی یکسان است. بنابراین، جریان آب از مخزن یا ارتفاع سطح آب در محفظهٔ تنظیم کننده بستگی^۱ به تفاوت بین ارتفاع شیر توپی شناور و محل استقرار (دهانهٔ انتهایی) لولهٔ جریان خروجی از تنظیم کننده دارد. بدین خاطر لولهٔ خروجی تنظیم کننده به طور آزاد حول مرکز قرص تنظیم می‌چرخد و موقعیت‌های مربوط به روز یا فصل سال ثبت می‌شوند (شکل ۱۵). هنگام ماه‌های تابستان وقتی که روزها بلندترند نقطهٔ لولهٔ خروجی تنظیم کننده (برای نمایش ساعات روز) سمت

۱. شدت جریان آب خروجی از مخزن با جذر تفاوت بین ارتفاع شیر توپی شناور و محل استقرار لولهٔ جریان خروجی از تنظیم کننده متناسب است، و ارتفاع آب در محفظهٔ شیر توپی شناور با تفاوت مذکور بستگی معکوس دارد. -م

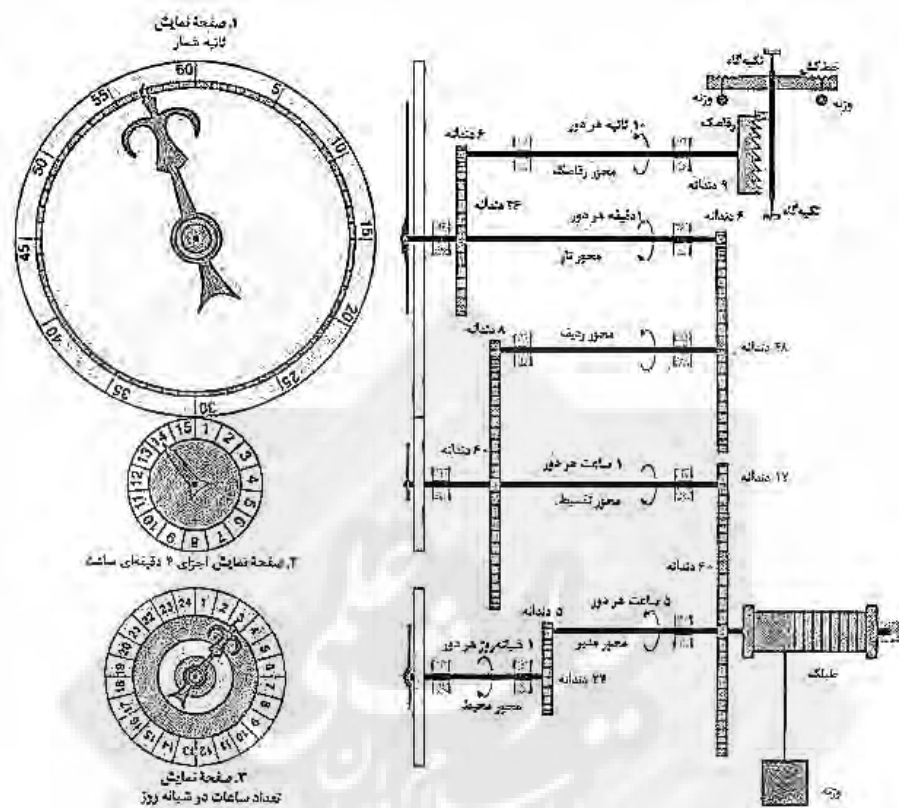
بالا می‌چرخد و هنگام ماه‌های زمستان وقتی که روزها کوتاه‌ترند (برای نمایش ساعات روز) به سمت پایین می‌چرخد. بنابراین ارتفاع آب در محفظه تنظیم‌کننده به فراخور فصل میزان می‌شود و به این ترتیب شدت جریان خروج آب تنظیم می‌شود.



شکل ۱۵- تصویر از جلوی قرص صفحه تنظیم با علائم برج‌های دوازده‌گانه، شاخص و انتهای خروجی لوله آب (دست‌نوشته A ۳۴۷۲، برگ ۸ر)

مسلمانان طی سده‌های متمادی دستگاه‌های کنترل خودکار سنتی مشابه مثال یاد شده جزری را با موفقیت زیاد استفاده کردند و توسعه دادند. ولی در اوایل سده هفتم هجری به دنبال هجوم مغول، اندیشه علمی در دنیای اسلام به دوران رکود و زوال رسید. از طرف دیگر با جنگ‌های صلیبی، غرب برای اولین بار با دنیای دوران اسلامی شرق روبرو شد. انتقال دانش علمی و فنی از دنیای شرق شروع شد و در دوره نوزایی شکاف (علمی بین شرق و غرب) به سرعت برداشته شد. ضمناً با غلبه اسپانیا، مسیحیت دومین ارتباط مهم بین شرق و غرب را برقرار کرد.

تقی‌الدین (۹۳۲ - ۹۹۳ ق) یکی از آخرین مهندسان و دانشمندان اصلی دنیای شرق بود. او رصدخانه استانبول را در دوره سلطنت مراد سوم (۹۸۲ - ۱۰۰۳ ق) ساخت، و کتاب‌های فراوانی، بیش‌تر در زمینه نجوم و مکانیک، نوشت. کار او در ساختن ساعت‌های مکانیکی مدرکی در رقابت داشتن با غرب است (شکل ۲۰). در سال ۹۸۷ ق که سلطان دستور تخریب رصدخانه را داد، آخرین مرکز پژوهشی شرق برای بیش از دوپست سال بسته شد.



شکل ۱۶- اساس ساعت مکانیکی نجومی طراحی شده توسط تقی الدین

در غرب ابتدا تنها کیمیاگران سیستم‌های کنترل خودکار را طراحی کردند. زیرا آن‌ها در تلاش برای تولید طلای مصنوعی از عناصر معمولی بودند؛ آن‌ها بر این باور بودند که دمای محیط واکنش باید ثابت باشد. بدین ترتیب، در بِل^۱ (۱۶۱۰م) اولین اتوکلاور کامل کرد. در سده‌های بعدی، آن‌ها تنظیم کننده حرارت را در گرم‌خانه‌ها (رئومور^۲ ۱۷۵۰م) و سرانجام در دیگ‌های بخار (هنری^۳ ۱۷۵۰م، بُن‌مین^۴ ۱۷۷۷م) به کار بردند. با وجود گذشته با شکوه دوره یونانی و اسلامی، کاربرد روش کنترل ارتفاع در دیگ‌های بخار در سده هجدهم میلادی (بریندلی^۵ ۱۷۵۸م، پُل زونف^۶ ۱۷۶۵م) دوباره ابداع شد. پاپن^۷ برای اولین بار در ۱۷۰۷م کنترل فشار را برای محفظه‌ای شبیه دیگ زود پز به کار برد.

1. Drebbel
2. Reaumur
3. Henry
4. Bonnemain
5. Brindley
6. Polzunov
7. Papin

قدیم ترین شرح آس باد (آسیاب بادی) که در آن پره‌های عمودی با محوری عمودی می‌چرخد در دست‌نوشته‌ای از سده هشتم هجری / چهاردهم میلادی اثر دمشقی (شکل ۱۷) پیدا شده است. این نوع آس‌بادها با محور عمودی در کشورهای جنوبی خاورمیانه به صورت پراکنده موجودند (شکل ۱۸). در حدود سده سیزدهم میلادی آس‌بادهای مدیترانه‌ای با محور افقی توسط چرخنده انتقال تکمیل و توسعه می‌یافتند (شکل ۱۹) که جهت باد و فاصله سنگ آس‌بادی در آن‌ها به صورت دستی کنترل می‌شود.



شکل ۱۷- دست‌نوشته‌ای از شمس‌الدین ابو عبدالله محمد بن ابی طالب انصاری دمشقی (۶۵۴ - ۷۲۷ق) که سطح مقطع یک آس‌باد را نشان می‌دهد، آس‌بادی که به صورت عمودی با یک محور عمودی می‌چرخد.



شکل ۱۸- آس‌بادی با محور عمودی در هرات، افغانستان



شکل ۱۹- جهت باد و فاصله سنگ در آس باد مدیترانه‌ای دستی کنترل می‌شد.

روش‌های کنترل سرعت در آس‌بادها ابتدا در انگلستان به کار رفت. این روش از طریق یک فناوری محلی با به کار بردن گوی‌های چرخان مطرح شد. این عنصر کنترل‌کننده گاورنر (تنظیم‌گر) نامیده شد و موضوع اختراعات زیادی در آن زمان بود. در موتور بخار وات هم برای کنترل سرعت ماشین از گاورنر استفاده شد. با مطالعه ریاضی گاورنرها توسط ماکسول^۱ و روث^۲ (۱۸۷۷م) مبانی نظری مهندسی کنترل گذاشته شد. مفاهیم زیادی مربوط به تحلیل‌های پایداری دستگاه‌ها با اختراع این پیشروان و بینش رهگشایانه نظریه پردازان اولیه ممکن شده است.

1. Maxwell
2. Routh