فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال چهاردهم، شماره ۵۵، پاییز ۱۳۹۱، صص. ۱۷۷- ۱۶۵

ساعت آبی اژدها، ساعتی از قرن پنجم هجری

یوسف یاسی[۱]

چکیده: از جمله شاهکارهای بی‌بدیل و بی‌نظیر در علم و دانش ایران از باستان تاکنون می‌توان از ساعتهای آبی ابوالعزبن رزاز الجزری نام برد. الجزری از دانشمندانی است که در قرن پنجم (ه.ش) می‌زیسته است و آثار باقی مانده از وی بیانگر توان بالای او در شاخه‌های مختلف علم مهندسی مکانیک از جمله مکانیک سیآلات و طراحی اجزا، مکانیزمها و مجموعه‌های مکانیکی است. از میان طرحهای بازمانده از وی می‌توان از انواع فواره‌ها، تلمبه‌های آبکش و ساعتهای مختلف آبی نام برد که هر یک در نوع خود شاهکاری بی‌مانند در گستره دانش مهندسی محسوب می‌شوند که بعضاً حتی بینندگان امروزی را نیز شگفت زده می‌سازند. در تحقیق انجام گرفته بخشی از این طرحها بررسی و بازنگری، باز طراحی، ساخته و آزمون شدند. در این میان، دو دستگاه ساعت آبی با نامهای "ساعت اژدها" و"ساعت طاووس" انتخاب شدند و در برنامه کاری این تحقیق قرار گرفتند. این ساعتها تا به حال در کشور ایران ساخته نشده‌اند و برای اولین بار در سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران در قالب پروژه‌ای تحقیقاتی با عنوان "طرح فناوریهای قدیمه ایران" در پژوهشکده مکانیک بر اساس مستندات موجود طراحی و ساخته شدند. آزمایشهای انجام گرفته حاکی از عملکرد کامل و دقیق این ساعتها بودند. در این مقاله ضمن معرفی کوتاه الجزری، تاریخچه‌ای از ساعتهای آبی ساخت وی بررسی و در دنباله شرح جزئیات طراحی مهندسی، چگونگی عملکرد و روابط ریاضی حاکم بر یکی از این ساعتها بیان شده است.

واژه‌های کلیدی: الجزری، ساعت آبی، ساعت آبی اژدها.

---

۱. عضو هیئت علمی سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران. yousefyassi@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۷)
(پذیرش مقاله:۱۳۹۱/۳/۱۳)

۱. مقدمه

دانشمند مسلمان "الجزری" که به‌عنوان پدر علم مهندسی مکانیک نیز شناخته می‌شود، در دانش مهندسی از نوادر تاریخ علم محسوب می‌شود. لقبی که به وی اطلاق شده، از آن نظر است که وی مکانیزمهایی شگفت انگیز را در کتاب "دانستنیهایی در رابطه با مکانیزمهای هوشمند[۱] "در سال ۵۸۵ هجری شمسی مطرح کرده است[۳، ۴ و ۷]. این کتاب را که مشتمل بر تعدادی تصاویر بسیار زیبا و دقیق از ابداعات الجزری است[۶]، قرنها بعد پرفسور دونالد راتلج هیل به زبان انگلیسی ترجمه کرد[۹].

نام و کنیه کامل الجزری بدیع الزمان ابوالعزبن رزاز الجزری است که در نیمه دوم قرن ششم و اوایل قرن هفتم هجری شمسی مصادف با نیمه دوم قرن دوازدهم و اوایل قرن سیزدهم میلادی می‌زیسته است [۱، ۲، ۳، ۹ و۱۰]. وی از دانشمندان و مهندسان برجسته دنیای اسلام است که اگر چه برخی از محققان عرب وی را عرب تبار دانسته‌اند، لکن زبان نوشتاری کتاب وی که عربی است و در واقع، زبان علمی رایج آن دوران بوده است، نمی‌تواند بیانگر ملیّت وی باشد. به هرحال، بنا به گفته خود او در مقدمه کتاب یادشده که اکثراً با نام "الجامع بین العلم و العمل فی صناعته الحیل " از آن یاد شده است، وی از سال ۵۷۰ هجری در دربار نورالدین محمدبن ارسلان از سلاطین خاندان ارتقیان که از اتابکان سلاجقه بودند، می‌زیسته است. استقرار الجزری در دربار ارتقیان پس از ارسلان نیز تا پایان عمر او ادامه داشته است. آنچه مسلم است، ارتقیان بر ناحیه "جزیره" (ترکیه امروزی) واقع در بین‌النحرین حکمرانی می‌کرده‌اند و کنیه "الجزری " نیز به نوعی او را با زادگاه خود مرتبط می‌سازد. بزرگ‌ترین شهر این منطقه که در آن عصر "آمِد" نامیده می‌شده است، زیستگاه وی بوده که امروزه با نام "دیاربکر" مشهور است. بدین ترتیب، با توجه به اقوام مستقر در این منطقه که برخی از اکراد نیز در میان آنها بوده‌اند و ابن جبیر نیز در سفر خود به آن نواحی به حضور اقوام کرد تبار در این ناحیه اشاره کرده است [۱، ۲، ۶ و۱۰] و با توجه به سلطه اتابکان سلاجقه که اصلاً ترک تبار بوده‌اند، نمی‌توان به قطعّیت در باره ملیّت الجزری حکم کرد، ضمن اینکه ناحیه بین‌النهرین تا پیش از اسلام همواره تحت سیطره حکومت شاهان ایران بوده است.

از جمله ابداعاتی که در کتاب"الجامع بین العلم و العمل فی صناعته الحیل" از الجزری ذکر شده است، می‌توان انواع تلمبه‌های آبکش، آفتابه‌ها و تشتها، دستگاههای خون‌گیری، فواره‌ها و ساعتهای آبی را بر شمرد[۳، ۴، ۷، ۹ و۱۰]. در بیشتر این طرحها از زیرمجموعه‌های نسبتاً ساده مکانیکی استفاده شده است که با هماهنگی بخشیدن به عملکرد آنان الجزری توانسته است مجموعه‌هایی

---

۱. (Kitáb fí ma'rifat al-hiyal al-handasiyya) (الکتاب فی معرفت الحیل الهندسیه)

پیچیده و دقیق را طراحی کند[۳ و ۸]. البته، یک‌بار دیگر نیز در اینجا می‌توان نوعی تفکر طراحی گام به گام و تکاملی را مشاهده کرد. این‌گونه تفکر طراحی و حتی برخی از طرحهای مهندسی ارائه شده توسط الجزری را می‌توان به صورتی کاملاً مشابه در آثار علمی و مهندسی احمد بن موسی بن شاکر خراسانی نیز مشاهده کرد [۵].

۲. ساعتهای آبی

از آنجا که کاربرد ساعت آفتابی فقط به روزهای آفتابی محدود می‌شود، لذا، همزمان با استفاده از ساعتهای آفتابی، ساعتهای آبی به‌منظور اندازه‌گیری زمان در روزهای غیرآفتابی و شبها ساخته شدند. اولین بار ساعت آبی را حدود سال ۲۰۰۰ ق. م. مصریها به کار بردند و در دوره‌های مختلف چینیها، یونانیها، در کشورهای اسلامی و حتی در اروپا به اشکال مختلف آن را ساختند و استفاده کردند[۱۳ و ۱۴]. در سال ۱۷۸ هجری قمری (۸۰۰ م.) در مراسم تاجگذاری شارلمانی امپراطور غرب، هارون‌الرشید ساعتی به او هدیه کرد که در نوع خود شاهکاری به‌شمار می‌رفت و شاید کامل‌ترین و بی‌نظیرترین ساعت آبی باشد که ساخته شده است[۱۶].

نوع دیگری از ساعت آبی را نیز مصریان اختراع کردند. در این نوع ساعت از جریان یکنواخت آب استفاده می‌شده است، بدین ترتیب که داخل ظرف مدرج سوراخ دار را با آب پر می‌کردند که آب قطره قطره از سوراخ کوچک آن به بیرون می‌چکیده و با توجه به مقدار آب خروجی، زمان تا حدودی معلوم می‌شده است[۱۴]. در سالهای ۲۰۰۰-۱۶۰۰ ق.م. نیز بابلیان از ساعتهای آبی مشابهی استفاده می‌کردند که گذشت زمان را بر اساس خروج آب از ظرفی خاص اندازه‌گیری می‌کردند [۱۵].

در این بخش از تحقیق پس از مطالعه انواع ساعتهای آبی و به خصوص ساعتهای مکانیکی آبی مذکور در کتاب"الجامع بین العلم و العمل فی صناعته الحیل "دو نمونه ساعت آبی با نامهای"ساعت اژدها" و"ساعت طاووس" به عنوان موضوع تحقیق انتخاب شدند. البته، نمونه‌ای از ساعت طاووس در کشور انگلستان بازسازی شده است که هم اکنون در موزه علوم لندن نگهداری می‌شود[۱۱]. بازسازی این دو ساعت از نظر جزئیات طراحی مهندسی و از نظر عملکردی با یکدیگر کاملاً متفاوت هستند[۴] و زیر مجموعه‌های مکانیکی به‌کار رفته در هر طرح هیچ‌گونه شباهتی به دیگری ندارد؛ اگر چه بر اساس تفکر تکاملی و گام به گام حاکم بر طرحهای الجزری می‌توان کاربرد جزئیات تشکیل دهنده هر یک از این دو دستگاه را در سایر طرحهای وی مشاهده کرد.

علّت اصلی تفاوت طراحی این دو دستگاه، در تفاوت بین منابع تأمین کننده انرژی لازم برای عملکرد ساعتها نهفته است. ساعت طاووس برای نشان دادن گذشت زمان و انجام شدن حرکات و جا به جاییهای مربوط، به جریان مستمر آب نیازمند است و این در حالی است که در ساعت اژدها از

مخزن ثابت آب و جا به جایی گوی‌هایی نسبتاً سنگین استفاده می‌شود. در واقع، در این ساعت گذشت یک بازه زمانی مشخص (مثلاً نیم ساعت) با پر شدن یک مخزن شناور در زمانی مشخص نشان داده می‌شود که در پایان این بازه زمانی مخزن پر شده از آب به زیر آب می‌رود و در این حین سازکارهای دیگری را نیز فعال می‌سازد. آخرین بخش از چرخه سازکارهای ساعت مربوط به تخلیه شناور از آب و شناور سازی مجدد آن است و این چرخه مستمراً تا زمان اتمام گوی‌های فلزی به کار خود ادامه خواهد داد[۱۲]. در دنباله ساعت اژدها به طور کامل شرح داده شده است.

۳. ساعت اژدها

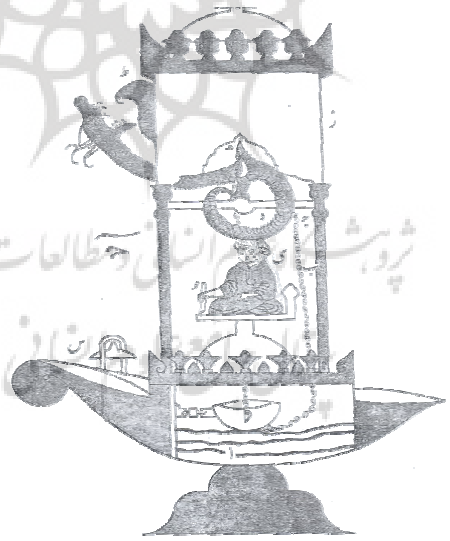
این ساعت مثل سایر ابداعات الجزری از شاهکارها و بدایع مهندسی قرن ششم هجری است. اگر چه امروزه نیز طراحی آن، که ترکیبی از مکانیزمهای مختلف و هماهنگی و دقت فراوان بین آنهاست، شگفتی مهندسان را بر انگیخته است[۱].

این ساعت دارای ساختمانی متشکل از چهار ستون است که اسکلت بدنه را تشکیل می‌دهند. بر روی این اسکلت‌بندی گنبدی برای تزیین قسمت فوقانی دستگاه قرار گرفته است. بدنه از سه طبقه تشکیل شده است: در طبقه اول حوض، کاسه، قرقره ها و مکانیزم محرک گوی‌ها قرار داده شده‌اند که در واقع، قلب عملکردی دستگاه محسوب می‌شوند. در طبقه دوم مردی قلم در دست (منشی) و اژدها واقع شده‌اند. در طبقه سوم مکانیزم آزاد سازی گوی‌ها و عقاب تعبیه شده است؛ اطراف طبقه اول و سوم به منظور پوشانیدن مکانیزم عملکردی ساعت مستتر می‌شود و طبقه دوم به همراه عقاب، اژدها نیز قابل رؤیت است.

در مقابل مجسمه مرد نشسته (منشی) صفحه‌ای قرار دارد که به پانزده قسمت تقسیم شده است. در ابتدای روز قلم مرد نشسته بر اولین علامت از پانزده جزء تقسیم بندی قرار دارد و به‌طور تدریجی و نامحسوس با گذشت روز و کارکرد ساعت از جزئی به جزء دیگر حرکت می‌کند. هنگامی که نوک قلم به انتهای اجزا می‌رسد، از منقار عقاب یک گوی به دهان اژدها می‌افتد. سر اژدها سنگین می‌شود و آهسته حول محوری افقی که عمود بر محور تعادلی نگهدارنده اژدها قرار دارد، دوران و رو به پایین حرکت می‌کند. حرکت دورانی و رو به پایین اژدها تا رسیدن به دماغه قایق ادامه می‌یابد و در آنجا یک گوی روی سنج نصب شده بر روی دماغه قایق می‌افتد و طنین صدای سنج گویای گذشت زمانی معادل نیم ساعت است که البته، این زمان قابل تغییر و تنظیم است [اندازه بازه زمانی بستگی به طرّاحی اوّلیه دارد]. گوی رها شده در دماغه قایق باقی می‌ماند. با رها سازی گوی وزن اژدها کم می‌شود و لذا، رو به بالا دوران می‌کند و به محل اولیه خود باز می‌گردد و آماده دریافت گوی بعدی می‌شود. در این هنگام قلم منشی به سرعت به محل اولیه خود؛ یعنی نخستین جزء از اجزای

نشان‌دهنده گذشت زمان باز می‌گردد که این به معنای گذشت یک ساعت مستوی از روز است. پس از آن منشی مجدداً قلم خود را از جزئی به جزء دیگر حرکت می‌دهد تا به آخرین جزء برسد و دوباره گوی دیگری از منقار عقاب به درون دهان اژدها می‌افتد و اژدها پس از تخلیه مجدد گوی و انداختن آن روی سنج به محل خود باز می‌گردد. این کار هر ساعت یا هر نیم ساعت یکبار [بستگی به تنظیم اولیه ساعت دارد] صورت می‌گیرد و تا آنجا که گوی در مخزن گوی‌ها وجود داشته باشد، ادامه خواهد یافت [۶ و ۱۲].

البته، عملکرد دقیق ساعت منوط به تنظیم دقیق مقدار آب ورودی به مخزن اصلی آن است. مقدار این جریان باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که هر نیم ساعت یا یک ساعت یک بار سطح آب در داخل مخزن تا حدی برسد که مخزن به طور خودکار ضمن دوران حول محور خود، آب را به یکباره در مخزن اصلی تخلیه کند و برای پر شدن مجدد آماده شود[۶]. تخلیه آب درون ظرف و دوران آن باعث کشیده شدن زنجیرهای فعال کننده مکانیزمهای عملکردی ساعت می‌شود که بدین ترتیب، کلیه مکانیزمهای یادشده فعال می‌شوند[۱۱]. در شکل ۱ تصویری از این ساعت که در کتاب الجزری آمده، نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر ساعت آبی اژدها بر گرفته از کتاب الجزری

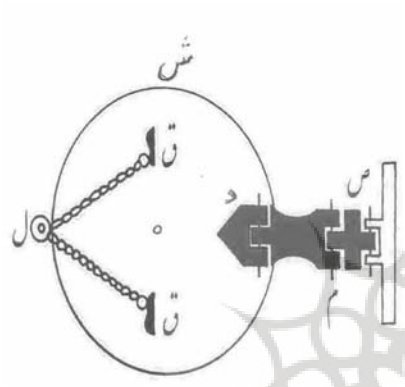
۴. شرح ریاضی مهندسی کارکرد ساعت اژدها

از دیدگاه علم مهندسی این ساعت به چند قسمت مجزّا تقسیم می‌شود که این قسمتها با هماهنگی و ارتباط با یکدیگر باعث کارکرد کلی ساعت می‌شوند. به طورکلی، این ساعت به دو قسمت جداگانه که یکی از دیگری فرمان می‌گیرد، تقسیم می‌شود. قسمت اوّل نشان دهنده گذشت اجزای زمانی یا دقایق است. در قسمت دوّم گذشت زمان در مقیاس یک ساعت یا نیم ساعت [این محدوده زمانی به دلخواه قابل تنظیم است] مشخص می‌شود. در ادامه مقاله توضیحاتی در باره کارکرد این قسمتها ارائه شده است.

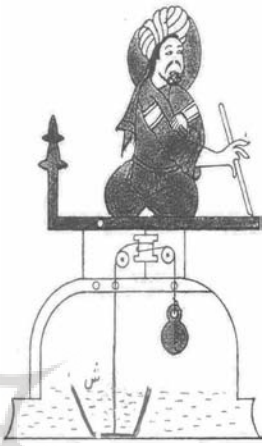
قسمت اوّل

این قسمت شامل ظرفی شبیه به یک کاسه سوراخدار است که در بدو امر بر سطح آب یک مخزن مملوّ از آب (مخزن اصلی) شناور است (ش). شناور مذکور از یک‌طرف به وسیله یک لولای سه تکه به بدنه مخزن اصلی متصل است. در شکل ۲ تصویری از این لولا نشان داده شده است [۱]. در این شکل قطعات ص، م و د سه پارچه تشکیل دهنده این لولا، ش تصویر قائم شناور و ل محل اتصال زنجیرها به شناور هستند. اندازه سوراخ این ظرف به شکلی تعیین می‌شود که زمان پر شدن و به زیر آب رفتن آن در درون مخزن اصلی بر طبق مقدار زمان مورد نظر، نیم‌ساعت یا یک‌ساعت، به طول بینجامد [۶]. فرو رفتن تدریجی ظرف باعث کشیده شدن زنجیر یا نخ مرتبط با مجسمه دوّار منشی می‌شود. مجسمه منشی تصویر مرد یا زن نشسته‌ای است که با دوران آهسته ۱۸۰ درجه‌ای گرد خود گذشت زمان بر حسب دقیقه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ذکر شد، شناور مستغرق در حال پایین رفتن به زیر آب نخ یا زنجیر مرتبط به قرقره زیر منشی را می‌کشد و باعث دوران همزمان قرقره و منشی حول محور قرقره می‌شود. در شکل ۳ تصویری از مجسمه منشی و چگونگی کارکرد آن نشان داده شده است. در اینجا ظرف (ش) شناور سوراخدار است که با گذشت نیم ساعت (یا یک‌ساعت) از آب پر می‌شود و به زیر آب فرو می‌رود و همزمان با فرو رفتن تدریجی خود، نخ یا زنجیر مربوط را به همراه می‌کشد و با کشیدن مداوم آن باعث دوران تدریجی منشی می‌شود. پس از غرق شدن ظرف و فعال شدن قسمت رها سازی گلوله و دوران اژدها زنجیر متصل کننده اژدها به شناور کشیده شده و شناور (ش) به بالا کشیده می‌شود. بدین ترتیب، شناور حول لولای متصل به مخزن اصلی دوران می‌کند که این عمل در عین حال باعث تخلیه آب داخل شناور (ش) می‌شود و در نتیجه، ظرف تخلیه و مجدداً شناور می‌شود. با شناور شدن ظرف (ش) وزنه تعادلی نخ یا زنجیر مربوط را به دلیل سنگین‌تر بودن به سمت خود می‌کشد و باعث دوران مجسمه منشی در جهت عکس می‌شود و بدین ترتیب، منشی به محل اوّلیه خود باز می‌گردد و شمارش دقایق مجدداً آغاز می‌شود. مجسمه منشی

گذشت زمان را بر حسب یک یا چند دقیقه بر روی صفحه‌ای به شکل نیمدایره که در برابر منشی نصب شده است، نشان می‌دهد [۹].



شکل ۲



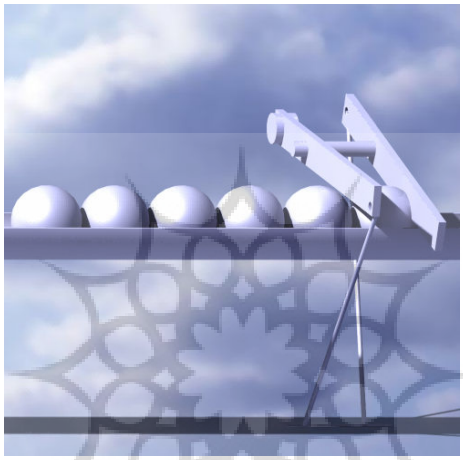
شکل ۳

قسمت دوّم

الجزری از حرکت رو به پایین شناور مستغرق در جهت به کار انداختن قسمت ساعت شمار این دستگاه نیز بهره گرفته است. به همین منظور، زنجیرهای دیگری نیز در نظر گرفته شده اند که به شناور (ش) متصل‌اند و همزمان با غرق شدن آن کشیده می‌شوند و گوی‌های غلتان را که وظیفه نشان دادن گذشت زمانی معادل با یک‌ساعت را عهده دارند، رها می‌کنند. زنجیرهای متّصل به سازکار رها سازی گوی‌های کروی شکل و تغذیه گوی جدید، همانند گرداننده شاخص گذران دقیقه‌ها (مجسمه منشی) توسط این ظرف و ضمن به زیر آب رفتن آن فعّال می‌شوند. فرو رفتن این ظرف به زیر آب باعث کشیده شدن زنجیرهای مرتبط با تیغه رها سازی و همچنین، تیغه نگهدارنده گلوله‌ها می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، ساز کار نشان دهنده گذران ساعت شامل قسمتهای زیر است:

- لوله نگهدارنده گوی‌های غلتان

- تیغه اولیه (تیغه نگهدارنده گلوله‌ها)
- تیغه ثانویه (تیغه رها سازی)
- لوله شیبدار



شکل ۴

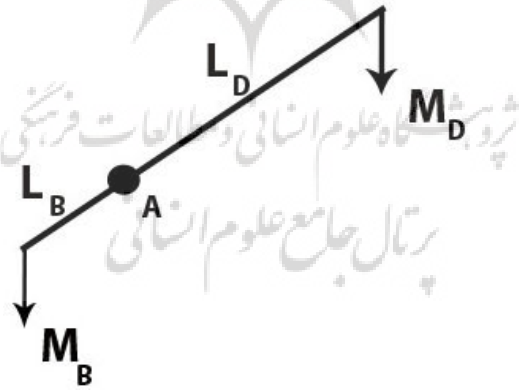
گوی‌هایی که رها سازی هر یک شاخص گذشت زمانی معادل با یک ساعت است، در داخل لوله تغذیه یا لوله نگهدارنده در پشت تیغه اولیه قرار دارند و تیغه اولیه موجب جلوگیری از غلتش آنها به جلو می‌شود. همواره یک گوی در لوله شیبدار برای اعلام گذشت زمانی معادل با یک ساعت رها می‌شود. تیغه ثانویه موجب جلوگیری از غلتش این گوی به جلو می‌شود. با فرو رفتن شناور (ش) در آب زنجیر مرتبط با دو تیغه به نحوی کشیده می‌شود که ابتدا تیغه اولیه به پایین می‌رود و آخرین گوی را، که در واقع، گوی مشرف به تیغه ثانویه است، از سایر گوی‌های منتظر رها سازی جدا می‌سازد و بدین ترتیب، یک گوی مابین دو تیغه قرار می‌گیرد که بلافاصله پس از بالا رفتن تیغه ثانویه گوی برای اعلام ساعت در لوله شیب دار روان می‌شود. گلوله روان شده از داخل لوله شیب دار می‌گذرد و از طریق چنگال یا منقار عقاب به داخل دهان اژدها فرو می‌افتد. اضافه شدن وزن گلوله به وزن اژدها باعث بر هم خوردن تعادل اژدها و دوران آن حول محور مرکزی خود می‌شود که بدین ترتیب، اژدها رو به پایین دوران می‌کند و در پایین مسیر گلوله از دهان او بر روی یک صفحه برنجی

بزرگ می‌افتد و با ایجاد صدایی بلند گذشت فاصله زمانی مربوط را اعلام می دارد. با دوران اژدها حول محور مرکزی خود سر اژدها رو به پایین و دم آن رو به بالا دوران می‌کند. بدین ترتیب، زنجیری کـه از یک سر به دم اژدها و از سر دیگر به شناور (ش) متصل است، کـه در ایـن لحظـه غـرق شـده اسـت و کاملاً در زیر آب قرار دارد، به سمت بالا کشیده می‌شود و باعث به بالا کشیده شدن شناور غرق شـده، تخلیه آن و شناور شدن مجدد آن می‌شود. بدین ترتیب، ساعت با ورود مجـدد آب بـه داخـل شـناور (ش) مجدداً فعالیت خود را برای نشان دادن گذشت ساعتی دیگر آغاز مـی‌کنـد. همچنـین، بـا خـارج شدن گوی از دهان اژدها وزن آن به حالت اولیه خود باز می‌گردد و لذا، اژدها با دورانی معکوس حـول محور مرکزی خود به مکان اولیه خود باز می‌گردد و منتظر فرو افتادن گلوله بعدی می‌ماند.

۵. روابط ریاضی

در بحث دوران اژدها حول محور خود روابط ریاضی حاکم به شرح زیر است:

ابتدا باید طول محور اژدها به نحوی انتخاب شود که اژدها در یک‌سـر آن قـرار گیـرد و دهـان بـاز آن درست در زیر چنگالها یا منقار عقاب واقع شود. در این حالت اگر وزن اژدهـا M_D فـرض شـود، وزنـه تعادلی دیگری موسوم به M_B در سر دیگر این محور قرار می‌گیرد، به طوری کـه نامعادلـه‌ای بـسیار حسّاس و شکننده و به نفع اژدها بین دو سر محور برقرار می‌شود تـا اژدهـا در بـالا و وزنـه تعـادل در سمت پایین محور قرار بگیرد. در شکل ۵ دیاگرام آزاد محور در حالـت عـدم تعـادل اوّلیـه نـشان داده شده است.



شکل ۵

از دیدگاه ریاضی نامعادله گشتاوری بین دو طرف به شرح زیر برقرار است:

$M_B . l_B > M_D . l_D$ …….. (1)

در اینجا

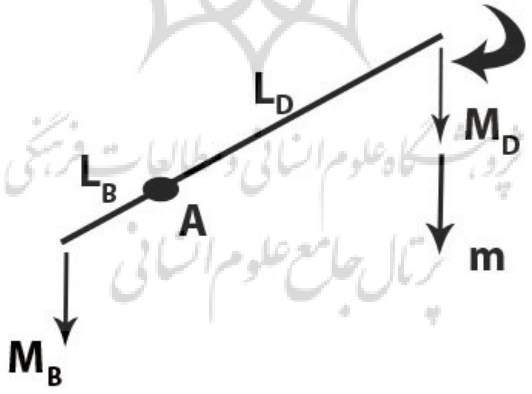
M_B = وزن جرم تعادلی

M_D = وزن اژدها

l_B = طول بازوی گشتاوری در سمت وزنه تعادلی

l_D = طول بازوی گشتاوری در سمت اژدها

به‌منظور افزایش هر چه بیشتر حساسیت سیستم و شکنندگی نامعادله به نفع سمت دیگر باید طول بازوی M_D به حداکثر بلندی مجاز خود برسد تا بدین ترتیب، افزایش جرم گلوله (m) به‌سادگی بتواند این نامعادله را به نفع سمت اژدها بر هم بزند و محور حول نقطه A دوران کند (شکل ۶)، در غیر این‌صورت، افزایش ابعاد گلوله به حدی خواهد بود که کلّ مجموعه از محدوده ابعاد منطقی خارج می‌شود.



شکل ۶

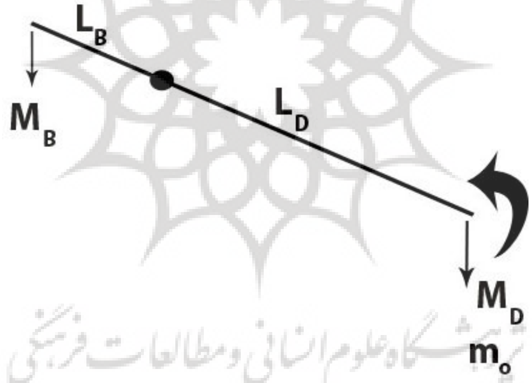
با افزایش جرم (m) به جرم اژدها، مقدار نامعادله گشتاور یادشده دستخوش تغییر و دوران اژدها حول نقطه A آغاز می‌شود. شکل ریاضی این نامعادله به شکل زیر خواهد بود:

$$M_B . l_B < (M_D + m) . l_D \quad .... (۲)$$

در اینجا

$m =$ وزن گلوله کروی

در واقع، گشتاور سمت اژدها به مقدار $m . l_D$ افزایش یافته است و این تغییر در حدّی است که با توجّه به حسّاسیت سازکار، مجموعه از تعادل خارج و دوران محور حول نقطه A آغاز می‌شود. با رها شدن گلوله در انتهای مسیر دوران اژدها گشتاور جرم (m) از نامعادله مذکور کاسته می‌شود و نامعادله به شکل اوّلیه خود (نا معادله ۱) باز می‌گردد. در شکل ۷ وضعیّت محور پس از رها شدن گلوله در انتهای مسیر دوران محور نشان داده شده است.



شکل ۷

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مادامی که گلوله‌های کروی شکل به تعداد مورد نیاز در لوله قرار داشته باشند، این فرایند کماکان ادامه می‌یابد و در محدوده‌های زمانی خاصّی (هرنیم‌ساعت یا یک‌ساعت یک‌بار) تکرار می‌شود و بدین ترتیب، در پایان هر محدوده زمانی گذشت زمان نشان داده و اعلام می‌شود. در بخش پایانی فرایند، ضمن دوران رو به بالای اژدها، آخرین زنجیر متصل به ظرف شناور آب، که به زیر آب فرو رفته است، کشیده می‌شود و بدین ترتیب، باعث تخلیّه و شناور شدن مجدد آن می‌شود.

۶. نتیجه گیری

به‌طورکلی، می‌توان نتایج به دست آمده از اجرای این طرح تحقیقاتی را از دو دیدگاه مشاهده کرد. ساده‌ترین و اولین دیدگاه، نگریستن به این نتایج از منظر مهندسی است که گویای این واقعیت است که نتایج به‌دست آمده از آزمونها نشان دهنده عملکرد صحیح، دقیق و کامل این ساعت است، در مقایسه با آنچه در کتاب"الجامع بین العلم و العمل فی صناعته الحیل" قید شده است.

دیدگاه دوم تا حدود زیادی گویای نتایجی است که شاید به‌طور مستقیم با طراحی دستگاه مرتبط نباشد و بر روی چگونگی فرایند طراحی تأکید می‌شود. به‌طورکلی، این دیدگاه نتیجه‌ای غیر مهندسی است که از جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده حاصل می‌شود. در واقع، یکی از نکات پر اهمیت این تحقیق دستیابی به چگونگی تفکر طراحی مهندسی الجزری است. بازطراحی و بازسازی این ساعتها موجب روشن شدن چگونگی نگرش و تفکر تکاملی و گام به گام وی در امر طراحی مهندسی شد. البته، با مطالعه کتاب "الجامع بین العلم و العمل فی صناعته الحیل" به راحتی می‌توان در جای جای آن آثار این‌گونه تفکر و سیر تکاملی فرایند طراحی مهندسی با شیوه طراحی گام به گام را مشاهده کرد. برای مثال، در خصوص معرفی تفکر تکاملی الجزری می‌توان از به‌کارگیری حرکت دورانی منشی در ساعت اژدها و مشابه آن حرکت دورانی طاووس نر در ساعت طاووس نام برد که هر دو گویای گذشت اجزای زمانی (دقیقه‌ها) هستند.

از دیگر نتایج پر اهمیت این تحقیق دستیابی به چگونگی تفکر طراحی مهندسی الجزری است که با به‌کارگیری روش گام به گام و تفکر تکاملی در طراحی مهندسی توانسته است با شکستن صورت اصلی مسئله به مسائل زیرمجموعه‌ای ساده‌تر آنها را تحلیل کند و در نهایت، با ترکیب نتایج آنها به طراحی سازکارهای پیچیده مکانیکی دست یابد. علم مهندسی امروز نیز می‌تواند با به‌کارگیری این روش یا بهینه‌سازی آن در چگونگی حل مسائل پیچیده مهندسی تحولی ایجاد کند.

از دیگر دستاوردهای پر ارزش ناشی از اجرای این طرح تحقیقاتی دستیابی به درکی کامل از تواناییهای علمی و مهندسی الجزری است که این خود می‌تواند به شناخت جایگاه رفیع وی در دانش مهندسی کمک شایان توجهی بکند. بدیهی است که این طرح و این مقاله قادر به بیان کامل مقام و جایگاه والای علمی این دانشمند بلندمرتبه نیست و شاید در این خصوص باید عمیق‌تر و دقیق‌تر کاوش کرد و نتایج آن را نه تنها به گوش ایران و ایرانی، بلکه به گوش جهانیان به خصوص اهل علم و دانش مهندسی رسانید. باشد که بدین ترتیب زنگار بی‌توجهی و عدم شناخت از چهره این ستاره پر فروغ دانش مهندسی ایران زمین زدوده شود تا برگی دیگر از کتاب پر افتخار هویت علمی و تاریخ علم این آب و خاک ورق بخورد.

مراجع

۱. ابی العزبن اسمعیل الجزری(۱۳۸۰)، *مبانی نظری و عملی مهندسی مکانیک در تمدن اسلامی (الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعت الحیل)*، ترجمه و تحشیه محمد جواد ناطق، حمید رضا نفیسی، سعید رفعت جاه، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول.

2. Hill, D. R. (1991), "Mechanical engineering in the medieval near east", *Scientific American*, pp. 64-9.

3. *Complete dictionary of scientific biography*, Vol.XV-suppl.1 (1978), Editor: Charles Coulston Gillespie, New York-Charles Scribner's Sons.

4. *Encyclopaedia of the history of science, technology, and medicine in non-western Cultures*(1997), Editor: Helaine Selin, Kluwer Academic Publishers, Dordresht, The Netherlands.

۵. یاسی، یوسف، هاشملو، ص.، بایرامی، م.، طباطبائی، ف. و کریمی، آ. (۱۳۸۸)، "چراغهای خودکار نوری بر دانش ایران باستان"، *فصلنامه آموزشی مهندسی ایران*، شماره ۴۴، سال یازدهم.

6. Al-Hassan, A. Y. and Hill, D. R. (1986), *Islamic technology- an illustrated history*, New York ,Cambridge, University Press.

7. Brice, W. C. (1981), *A historical atlas of Islam*, Brill Academic Pub, November, P. 266.

8. Howard, R.T. (1977), *Science in medieval Islam*, *An illustrated introduction*, P.148, University of Texas Press.

9. Hill, D. R. (1998), *Studies in medieval Islamic technology*, Ashgate Publishing Limited.

10. *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices: Kitáb fí ma'rifat al-hiyal al-handasiyya*, Translated by P. Hill (1973), Edition 3, Springer Science+Business Media.

11. Hill, D. R. (1996), *A history of engineering in classical and medieval times*, Routledge, New York.

12. Robinson, A. (2007), *The story of measurement: from cubits to megabytes*, Thames & Hudson, ISBN 978-0500513675.

13. Cowan, H. J. (1958), *Time and Its Measurement: From the Stone Age to the Nuclear Age*, Ohio: The World Publishing Company.

14. Cotterell, B. and Kamminga, J. (1990), *Mechanics of pre-industrial technology*: *an introduction to the mechanics of ancient and traditional material culture,* Cambridge University Press, ISBN 0521428718. OCLC 18520966, pp. 59–61.

15. Pingree, D. (1998), *Legacies in astronomy and celestial omens*, in Stephanie Dalley, The Legacy of Mesopotamia, Oxford: Oxford University Press, pp. 125–126. ISBN 0198149468.

16. Ulrich, A. (2010), The horologium of Hārūn al-Rashīd presented to charlemagne – An attempt to identify and reconstruct the clock using the instructions given by al-Jazarī, in: variantology 4, on deep time relations of arts, sciences and technologies in the arabic-Islamic world and beyond, ed. by Siegfried Zielinski and Eckhard Fürlus in Cooperation with Daniel Irrgang and Franziska Latell (cologne: verlag der buchhandlung walther könig, 2010), pp. 19–42.