بسم الله الرحمن الرحیم

مهندسی مکانیک درمیان مسلمانان

نوشتهٔ دونالد ر. هیل
ترجمهٔ حسین معصومی همدانی

یادداشت مترجم

مؤسسهٔ تاریخ علوم عربی (معهدالتُراث العلمی العربی) وابسته به دانشگاه حلب، سوریه، از مؤسسات آبرومندی است که در زمینهٔ تاریخ علوم در اسلام فعالیت دارد. این مؤسسه تاکنون، علاوه بر تربیت متخصصان در زمینهٔ تاریخ علوم در اسلام و انتشار مجله‌ای تخصصی که تا سال ۱۹۸۱ میلادی پنج دوره از آن منتشر شده (مجلة تاریخ العلوم العربیة)، برخی از متون مهم تاریخ علم در اسلام را هم با تصحیح انتقادی منتشر کرده است که نام آنها برای آشنایی علاقه‌مندان در زیر می‌آید:

۱. تقی الدین و الهندسة المکانیکیة العربیة مع کتاب الطرق السنیة فی الآلات الروحانیة، تألیف احمد یوسف الحسن؛
۲. الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعة الحیل، از ابن رّزاز جزری به تصحیح احمد یوسف الحسن؛
۳. کتاب الحیل، از بنوموسی، به تصحیح احمد یوسف الحسن؛
۴. ساعتهای آبی اسلامی (به انگلیسی) تألیف دونالد ر. هیل (Donald R. Hill)؛
۵. ریاضیات بهاءالدین العاملی، از جلال شوقی؛
۶. مراسم الانتساب فی معالم الحساب، از یعیش بن ابراهیم اموی، به تصحیح احمد سلیم سعیدان؛
۷. افراد المقال فی امرالظلال، از ابوریحان بیرونی، ترجمه و تحشیه از ادوارد کندی؛
۸. ابن الشاطر فلکی عربی من القرن الثامن الهجری/ الرابع عشر میلادی تألیف ادوارد کندی و عمادغانم؛
۹. مخطوطات الطب والصیدنة فی المکتبات العامة بحلب، تألیف سلمان قطایه؛
۱۰. ما الفارق، از ابی‌بکر محمد بن زکریا رازی، به تصحیح سلمان قطایه؛
۱۱. رسائل الخیام الجبریّة، به تصحیح رشدی راشد؛
۱۲. سرالخلیقة و صنعة الطبیعة، از بلینوس، به تصحیح اورسولا وایسر؛

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱۳. دلیل الباحثین فی تاریخ العلوم عندالعرب و المسلمین، از سامی حمارنه.

همچنین این مؤسسه تاکنون مجموعهٔ خطابه‌هایی را که در «گردهماییهای تاریخ علوم اسلامی» ایراد شده در چهار جلد منتشر کرده است.

دربارهٔ این مؤسسه مقاله‌ای از آقای دکتر محقق درشمارهٔ ۴ - ۶، ۱۳۵۸ مجلهٔ آینده (ص ۴۰۸) به چاپ رسیده.

مقاله‌ای که می‌خوانید در مجموعهٔ خطابه‌های گردهمایی اول تاریخ علوم اسلامی به چاپ رسیده است. نام و نشان اصلی مقاله چنین است:

Donald R. Hill, "Medieval Arabic Mechanical Technology", in *Proc. of the Frist Int. Symp. for the History of Arabic Science*, Aleppo, 1976.

نویسنده که از متخصصان بزرگ تاریخ تکنولوژی در اسلام است در این مقالهٔ مختصر سهم مسلمانان را در تاریخ مکانیک، بر اساس آثار بنوموسیٰ و جَزَری، به بهترین وجه باز نموده است، و چون خود مهندس است به تفصیل در جزئیات کار ایشان وارد شده و نوآوریهای آنان را از دید امروزی شرح داده است.

در ترجمهٔ این مقاله، برای اصطلاحات مهندسی سعی شده است که از واژه‌های رایج استفاده شود، اما در یکی دو مورد مترجم ناگزیر بر پایهٔ حدس معادلی برای واژهٔ بیگانه برگزیده یا احیاناً معادلی ساخته است. معادل همهٔ اصطلاحات در پایان مقاله آمده تا اگر صاحبنظری خطایی در آن دید مترجم را آگاه سازد. همچنین هر جا که در این مقاله واژه‌های «اسلامی» و «مسلمانان» آمده در اصل «عربی» و «اعراب» بوده، و چنانکه از متن مقاله پیداست، تغییر این دو واژه جز بر صحت و وسعت دامنهٔ نظر مؤلف نمی‌افزاید.

مترجم بر خود لازم می‌داند از استاد دکتر مهدی محقق که این مقاله و نیز متن کتاب جزری را در اختیار او نهاد سپاسگزاری کند و توفیق ایشان را از خدای بزرگ خواستار شود.

در این مقاله به شکوفایی فنون مکانیکی در میان مسلمانان در قرون سوم تا ششم هجری (نهم تا سیزدهم میلادی)، به صورتی که در کتابهای موجود دیده می‌شود می‌پردازیم، و استناد ما بیشتر به آثار بنوموسی و جزری است. امّا باید این نکته را تذکر دهیم که تحقیق در صنعت اسلامی (و تاریخ صنعت به طورکلی) نسبتاً مورد بی‌توجهی بوده است، و بنابراین بدون انجام دادن یك تحقیق جامع و برنامه‌دار نمی‌توان دستاوردهای مسلمانان را در این زمینه برآورد کرد. همچنین باید در نظر داشت که سنتی کهن در زمینهٔ مهندسی کاربردی وجود داشته که ساختن وسایل آبکشی، آسیاب، منجنیق، ساختمان، وسایل منزل و زینت افزارهای شخصی و خانگی را دربر می‌گرفته است. ما نام صنعتگرانی را که این گونه وسایل را می‌ساخته‌اند نمی‌دانیم، و خود آنان هم نتایج کار خود را روی کاغذ نمی‌آورده‌اند، امّا کار آنها، گذشته از نقش ضروریش در جامعه، منبع پرثمری بوده که نویسندگان مهندسی از آن الهام می‌گرفته‌اند. بهترین نویسندگان مهندسی، با روشها و قطعات و اصطلاحات آسیاب‌سازان، نجاران، گوهرسازان و نقاشان آشنا بودند، و تأثیر این صنعتگران بی‌ادعا در کتابهای آنان بخوبی نمایان است.

نوشته‌هایی که ما می‌خواهیم بررسی کنیم به علم حِیَل که معمولاً به علم «ابزارهای بدیع» ترجمه می‌شود اختصاص دارند. در این وسایل عمدتاً با استفاده از فشار آب و فشار هوا پدیده‌های نمایانی چون بیرون زدن آب از پستانك[1] یا فواره ایجاد می‌شود، یا مجسمهٔ خودکارِی به حرکت درمی‌آید. دلیل توفیق مهندسان مسلمان در این کار این بود که در طرح این وسایل از دانش تجربی استاتیك (ایستشناسی) استفاده می‌کردند و نیز می‌توانستند قطعات لازم را از موادی که در اختیار داشتند ببرند، شکل بدهند و سوار کنند. مواد موجود عبارت بود از همهٔ فلزات و آلیاژهای معمولی، به استثنای روی، به همراه اندکی طلا و نقره؛ چوب؛ شیشه؛ چرم؛ ریسمانهای کنفی و پنبه‌ای و ابریشمی؛ و پاره‌ای مواد برای تزیین. رایجترین مواد چوب و مس ورقه‌ای (مس تنکه) بود، که از این دومی برای ساختن مخازن، لوله، قطعات شناور، و مجسمه‌های متحرك استفاده می‌کردند. برای جلوگیری از خوردگی، داخل مخازن مایعات را کاملاً قلع اندود می‌کردند. سیم را معمولاً از مس و گاه از آهن می‌ساختند و از آن برای ساختن زنجیر هم استفاده می‌کردند. برای انتقال نیروی مکانیکی از دنده، بادامك و قرقره‌های مرکب استفاده می‌شد. چرخدنده‌ها و قرقره‌های بزرگ را از چوب و کوچکترها را از مس می‌ساختند.

برای انتقال مایعات از لوله و آبراهه استفاده می‌شد و جریان مایع را با استفاده از شترگلو (سیفون)، و روزنه[۳] و شیـــر دستی[۴] و شیر (سوپاپ)[۵] مهارمی‌کردند. شیر و شیردستی را از مفرغ ریخته‌ای می‌ساختند و برای آنکه کاملاً آببندی[۶] باشد قسمتهای ثابت و متحرك آن را با سمباده خوب صیقل می‌دادند. در بسیاری از موارد، در دو قسمت شیر سوراخهای متعدد ایجاد می‌کردند تا مایعات مختلفی که در محفظه‌های متعدد مخزن اصلی بود، از راه آنها خارج شود. چون پیچ معمولی و پیچ و مهره در اختیار نداشتند، تثبیت و اتصال قطعات برایشان مشکلی بود، و سوار کردن قطعات به‌طور صحیح نیاز به فراست و مهارت داشت. لحیم‌کاری معمولترین شیوهٔ اتصال قطعات بود، امّا از میخ آهنی، زبانه و اتصال نرماده (نَرماذَج) هم استفاده می‌کردند. چرخهای ملاقه‌دار[۷] و چرخهای پره‌دار[۸] کوچك را با جریان آب به چرخش درمی‌آوردند، و برای نامیدن این اجزاء از اصطلاحات آسیاب‌سازان استفاده می‌کردند. همه نوع چرخی را روی محورهای چوبی یا آهنی سوار می‌کردند، و دو سر محورها را در یاتاقان قرار می‌دادند؛ گرچه یاتاقان و روش روغنکاری آن از موارد معدودی است که شرح کافی درباره‌اش داده نشده است، شاید برایشان مسلم بوده است که مهندسان با این روشها آشنایی کافی دارند.

همین نارسایی در توصیف نحوهٔ استفاده از ابزارها هم دیده می‌شود، و شاید هم دلیلش همان باشد. بنابراین اطلاعات خود را باید بیشتر از عملیاتی که با مواد مختلف انجام می‌دادند به دست آوریم. از چوب با مهارت تمام استفاده می‌کردند، آن را تخت و صاف می‌کردند، شیارهایی در آن ایجاد می‌کردند و تخته‌های گرد از آن می‌بریدند. بنابراین باید بگوییم که انواع اره و رنده و اسکنه و گرزن در اختیار داشته‌اند. شیوهٔ کار آنها در شکل دادن و بریدن فلزات مستلزم وجود ابزارهای مختلف فلزکاری است، از جمله چکشها و پتکهای گوناگون، هویه، سوهان و شاب. از سوهان برای برداشتن فلز اضافی از قطعات ریخته‌ای و برای ایجاد دندانه در چرخدنده‌های کوچك استفاده می‌کردند. جزری در چند مورد از چرخ تراش (چرخ خراطی) نام برده است؛ احتمالاً گذشته از کار معمولی چرخاندن قطعات، از آن برای مته‌کاریهای ظریف هم استفاده می‌کردند. برای اندازه‌گیری و نشانه‌گذاری شاغول، گونیا، خط‌کش و پرگار اندازه‌گیر به کار می‌بردند. از پرگار اندازه‌گیر هم برای ترسیم دایره و هم برای بریدن ورقه‌های گرد از ورقه‌های فلز استفاده می‌کردند.

برآورد امکانات ریاضی مهندسان مسلمان کار ساده‌ای نیست. ساختن و سوار کردن وسایل به توانایی در هندسهٔ مسطحه و حساب و اندازه‌گیری مساحات نیاز داشت، هرچند چون استانداردهای منسجمی وجود نداشت، مسئلهٔ اوزان و مقیاسات مشکلی ایجاد می‌کرد. چنانکه انتظار می‌توان داشت، جزری کاملاً با ارقام آشناست، امّا بنوموسی همیشه اعداد را به صورت حرفی می‌نویسند. اگرچه در دورهٔ مورد بحث پایه‌های ریاضی پدیده‌های فیزیکی شناخته نبود، امّا بشر در سراسر تاریخ پیش از آنکه توضیح علمی پدیده‌ها را بشناسد با مهارت از آنها استفاده می‌کرده است، و مفهوم مهندسی به عنوان «علم کاربسته» بسیار جدید است. مدرج کردن تنظیم کنندهٔ جریان[۹] توسط جزری (دنبالهٔ مقاله را ببینید) نمونهٔ زیبایی است از روش تجربی او، و نمونه‌های شبیه آن در همهٔ کتب حیل دیده می‌شود. فی‌المثل، بنوموسی مفهوم فشار دیفرانسیلی[۱۰] را درست نمی‌شناختند، امّا این امر مانع از آن نبود که با مهارت و تسلط شگفت‌آوری از آثرواستاتیك و هیدرواستاتیك استفاده کنند. همچنان که منجمان با استفاده از هیئت بطلمیوسی جوابهای قانع‌کننده‌ای برای پرسشهای خود به دست می‌آوردند، اینان نیز از مجموعه‌ای از فرضیات، که برای اوضاع و احوال مورد نظرشان الگوی مطمئنی بود، استفاده می‌کردند.

هرچند برخی از اندیشه‌هایی که در کتب حیل مندرج است در شرق دور و هند و ایران ریشه دارد، امّا مهندسی اسلامی را می‌توان بیقین دنبالهٔ سنت شرق مدیترانه دانست. مصریان و رومیان پیشرفتهای مهمی در مکانیك کرده بودند، امّا سهم یونانیان از همه بیشتر بود، و فن مکانیك در اسلام بیشترین جانمایهٔ خود را از جهان یونانیمآب گرفت. در دورهٔ خلفای بزرگ عباسی در بغداد، بسیاری از آثار یونانی با نظم و ترتیب، و گاهی از سریانی، به عربی ترجمه شد، که از آن جمله پنوماتیك[۱۱] فیلون بوزنطی[۱۲] (قرن دوم پیش از میلاد)[۱۳] و مکانیك (شیل الاثقال) هرون اسکندرانی[۱۴] (۶۰ پس از میلاد)[۱۵] و رساله‌ای دربارهٔ ساعتهای آبی بود که به ارشمیدس نسبت داده می‌شد.[۱۶] رسالهٔ اخیر اهمیت خاصی دارد، زیرا جزری آن را یکی از منابع خود دانسته است، گرچه منشأ آن را نمی‌توان با قطع و یقین تعیین کرد. احتمالاً این رساله اندیشه‌هایی از ارشمیدس و فیلون را همراه اضافات بعدی مسلمانان شامل بوده است. گذشته از این منابع مکتوب، مسلمانان فرصت داشته‌اند که ساعتهای آبی را که در سوریه ساخته شده بود یا بقایای آنها را وارسی کنند. نمونهٔ جالبی از این ساعتها در غزه وجود داشت[۱۷] و می‌دانیم که در دمشق سنت دیرپا و پابرجای ساعت سازی وجود داشت که در همهٔ دوران یونانی و یونانیمآبی و بوزنطی دوام آورد، و

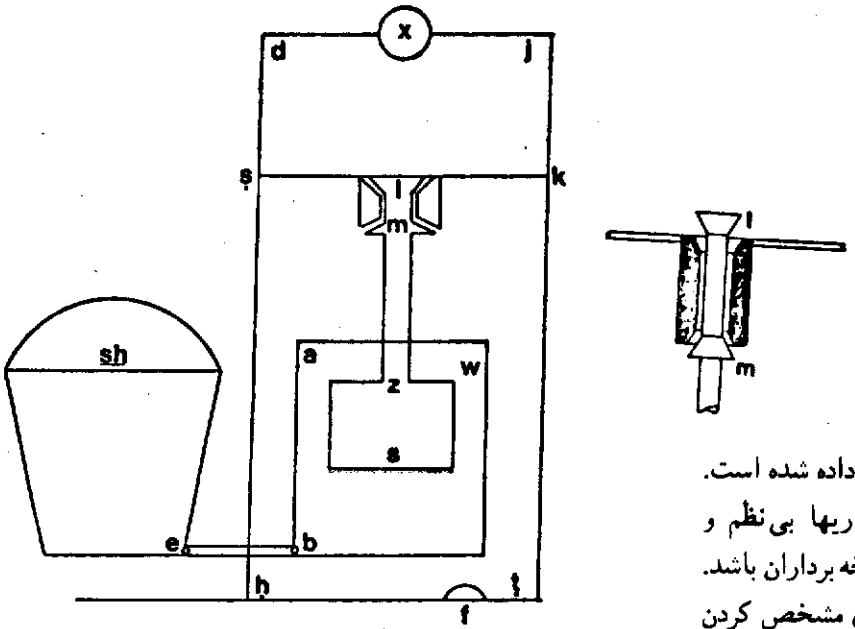
چنانکه رضوان گفته است تا دوران اموی هم برجای بود.[۱۸]

تا آنجا که می‌دانیم، رونق فنون مکانیکی در عالم اسلام در حدود ۲۳۶ (۸۵۰) به دست بنوموسی در بغداد آغاز شد و در ۶۰۲ (۱۲۰۶) به دست جزری در دیار بکر به اوج خود رسید، و من می‌خواهم از روی این نمونه‌ها دستاوردهای مسلمانان را بیان کنم. انتخاب این دو بی‌دلیل نیست، زیرا از اشارات فراوانی که در آثار دیگر نویسندگان مسلمان به بنوموسی و جزری شده معلوم می‌شود که ایشان را مهمترین اشخاص در فن مکانیك می‌دانسته‌اند؛ گذشته از این، خود جزری هم از بنوموسی به عنوان مهمترین پیشینیانش نام می‌برد. دست‌کم با عطف توجه به این چهره‌های مهم، در این مجال تنگ، می‌توان تا حدودی حق آنان را ادا کرد، با این حال، نباید تصور شود که می‌توان سایر حوزه‌های تحقیق را نادیده گرفت: تحقیق برای یافتن نسخه‌های خطی جدید، کاوشهای باستانشناسی، و تفحص در آثار نویسندگان مسلمان در زمینهٔ مکانیك یا موضوعات وابسته به آن.

امّا ابتدا باید به ذکر دو اثر دیگر بپردازیم. یکی از این دو فرهنگ‌مانندی است دربارهٔ علوم به نام مفاتیح‌العلوم، که ابوعبدالله خوارزمی بین سالهای ۳۶۵ـ۳۸۱ (۹۷۵ـ۹۹۱) نوشته است.[۱۹] در فصلی از این کتاب که دربارهٔ حیل است، سیاهه‌ای از قطعات و شیوه‌های مختلفی که سازندگان این آلات به‌کار می‌برده‌اند آمده، که با توصیفات مختصر و اطلاعاتی در مورد ریشهٔ لغات همراه است. از این نظر این کتاب راهنمای سودمندی است و میزان پیشرفت مهندسان مسلمان را در اواخر قرن چهارم (دهم میلادی) نشان می‌دهد. کتاب دیگر را رضوان بن [محمّد خراسانی] ساعتی در سال ۶۰۰ (۱۲۰۳) تصنیف کرده و ماجرای تعمیر ساعتی را که پدرش برفراز دروازهٔ جیرون در دمشق ساخته بود، به دست پسر حکایت می‌کند.[۲۰] کار اصلی رضوان مهندسی نبود و از نحوهٔ عرضهٔ مطالب پیداست که دانش فنی لازم را نداشته است، در نوشتهٔ خود از این شاخه به آن شاخه می‌پرد و دقت ندارد و شکلهای کتاب طرحهای خامی است که با دست خالی کشیده شده است. با این حال، از رسالهٔ او اطلاعات فراوانی دربارهٔ ساختمان این ساعت، که احتمالاً بسیار شبیه ساعتهای آبی بزرگتری بوده است که بقایایشان هنوز در فاس مراکش دیده می‌شود، به دست می‌آید. در بسیاری دیگر از نوشته‌های مسلمانان، که به موضوعات مهندسی اختصاص ندارد، مطالبی یافت می‌شود که برای مورخان تکنولوژی جالب است، امّا شناسایی و استخراج این مواد نیازمند تحقیق و مطالعهٔ فراوان است. منظور من آثار جغرافیدانان و تاریخنویسان و بخصوص دانشمندان مسلمانی است که ذهنشان همهٔ جوانب جهان طبیعی را دربر می‌گرفت؛ کسانی چون بیرونی، ابن‌هیثم و خازنی. اگر بخواهیم داستان مهندسی مکانیك را در میان مسلمانان به‌طور کامل حکایت کنیم، باید به همهٔ موادی که در اختیار داریم توجه کافی مبذول داریم، امّا در حال حاضر صرفاً به دو نوشته‌ای که در بالا یاد کردیم می‌پردازیم. این دو نوشته نمونه‌هایی است ارزشمند از یك سنت عظیم.

بنوموسی از جملهٔ مهمترین چهره‌ها در تحول علم و مهندسی اسلامی به شمار می‌آیند. پدر آنان، موسی بن شاکر، منجمی معروف و از دوستان نزدیك مأمون خلیفه بود. سه برادر که محمد و احمد و حسن نام داشتند پس از مرگ پدر در دستگاه مأمون بزرگ شدند و تحصیل کردند و سپس به محافل درباری جانشینان او راه یافتند. اینان حامی علم و ادب بودند و به تشویق و الهام آنان بود که مؤسسهٔ معروف ترجمه (بیت‌الحکمه) در بغداد تأسیس شد. در این مؤسسه دانشمندان بزرگی چون ثابت‌بن قره و حنین‌بن اسحاق با تلاش فراوان ترجمه‌های دقیقی از نوشته‌های مؤلفان باستان ـ از دانشمند و فیلسوف ـ فراهم آوردند که بسیاری از این آثار اکنون فقط به عربی موجود است و اصل آنها از میان رفته است. بنابراین جهان از بابت حفظ بسیاری آثار ارزشمند علمی دین بزرگی به بنوموسی و این مترجمان دارد. امّا کار ایشان به ترجمه منحصر نمی‌شد. بسیاری از آنان، و نیز خود بنوموسی، دانشمندان بزرگی بودند و آثاری در ریاضیات و نجوم و علوم طبیعی تألیف کردند که شکوفایی علم در اسلام در قرنهای بعدی بر پایهٔ آنها بود.

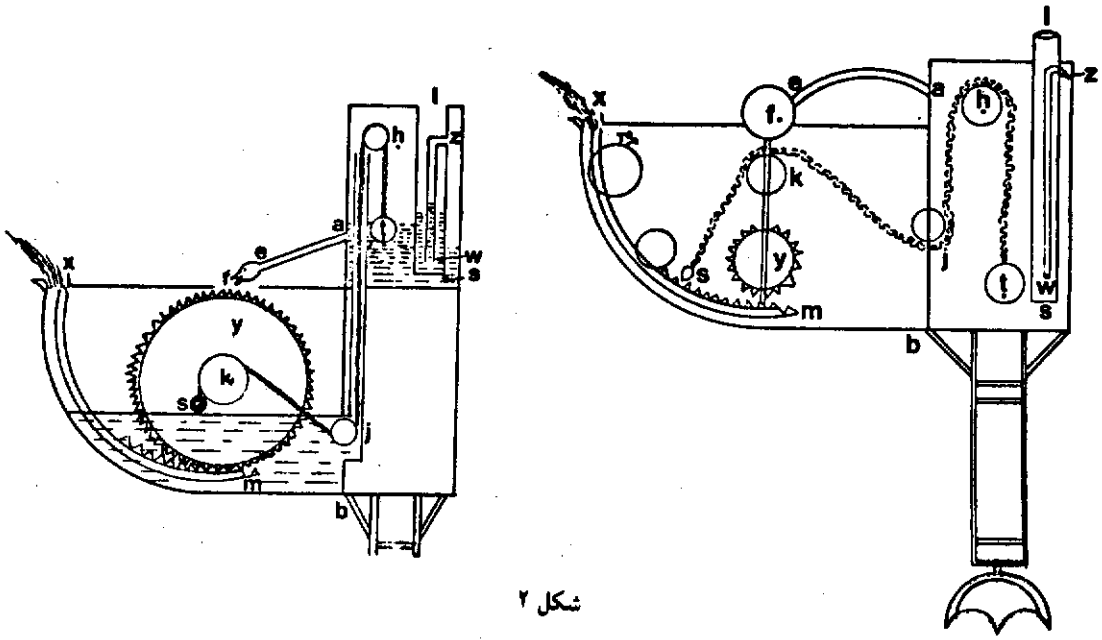
چندین کتاب به بنوموسی نسبت داده شده، امّا از آن میان فقط یکی مستقیماً به مکانیك پرداخته است که کتاب‌الحیل نام دارد و احتمالاً در حدود ۲۳۶ (۸۵۰) تألیف شده است. در حال حاضر، اطلاعات ما از این کتاب از روی نسخه‌های خطی کامل یا نیمه‌کامل آن است، و کتاب به هیچ زبانی منتشر نشده، هرچند مطالعات ارزشمندی به زبان آلمانی در آن به عمل آمده است.[۲۱] در این کتاب صد وسیله توصیف شده، که بیش از هشتاد تای آنها انواع مختلف وسایل سرگرم کننده‌است. بقیه شامل فواره‌هایی است که شکلشان بتناوب تغییر می‌کند، چراغی که خودبخود شعله‌اش تنظیم می‌شود و خودبخود سوخت می‌گیرد، یك نوع دَم برای بیرون راندن هوای آلوده از چاهها، و یك بیل مکانیکی برای حفاری در کف رودخانه و دریا. توصیف دستگاهها نسبتاً کوتاه است ـ یکی دو صفحه ـ و برای هر مدل (شکل) طرحی به صورت نمای جداگانهٔ قطعات رسم شده است. روی طرحها حروف الفبا



شکل ۱

نوشته شده و در متن کتاب به این حروف ارجاع داده شده است. هم در متن و هم در تصاویر، اغلب حروفگذاریها بی‌نظم و نامنسجم است، اما شاید گناه این امر به گردن نسخه برداران باشد. گذشته از این، حروف به شیوهٔ هندسه‌دانان برای مشخص کردن نقاط در روی طرحها به کار رفته است، و حال آنکه مهندسان از حروف برای نشان دادن تك‌تك قطعات و اجزاء استفاده می‌کنند. ابزارهای سرگرم کننده، که بخش بزرگ کتاب را به خود اختصاص داده‌اند، پدیده‌های عجیبی ایجاد می‌کنند. مثلاً مشربه‌ای که اگر مانعی بر سر ریختن مایع در آن ایجاد شود، دیگر مایع را پذیرا نمی‌شود؛ تنگی که دو مایع پشت سرهم در آن ریخته می‌شود و سپس این دو مایع را بتناوب و به مقادیر معلوم تخلیه می‌کند. سطلهایی که دائماً از آب پر می‌شوند مگراینکه مقدار زیادی آب برداشته شود، که در این صورت دیگر پر نمی‌شوند؛ و از این قبیل. این پدیده‌ها با استفادهٔ استادانه از اصول هیدرواستاتیك، آئرواستاتیك و مکانیك، که درعین حال جنبهٔ تجربی دارد، پدید می‌آیند. اجزائی که به کار رفته مشتمل است بر مخازن، لوله، شناور[۲۳] شترگلو (سیفون)، اهرمهایی که روی محورهایی سوارند، شیرهایی با چند سوراخ، شیرهای مخروطی[۲۴] پیچ و چرخدندهٔ واسط[۲۵]، و چرخ و میله‌دنده[۲۶]. ابزارهای بزرگی که بنوموسی شرح داده‌اند اغلب شامل تعدادی از این اجزاء هستند که برای تولید پدیده‌های موردنظر به طرق مختلف به هم وصل شده‌اند. برای آنکه تا حدودی به روشهای آنها پی ببریم، به توصیف دو وسیله، که از بسیاری از وسایل دیگر ساده‌ترند، می‌پردازیم. وسیلهٔ اول از یك سطل یا طشت بزرگ تشکیل شده که در کنار ظرفی استوانه‌ای قرار دارد و با لوله‌ای به مخزنی در درون ظرف وصل می‌شود. در داخل این مخزن، شناوری وجود دارد که روی آن میله‌ای سوار است و در دو طرف این میله قسمتهای متحرك یك شیر(سوپاپ) مخروطی نصب شده است (شکل ۱). این میله از یك جاشیری (مادگی) جُفته[۲۷] می‌گذرد، به‌طوری که شیر بالایی رو به بالا و شیر پایینی رو به پایین باز می‌شود. مادگی شیر بالایی در سوراخی قرار دارد و این سوراخ در ورقه‌ای ایجاد شده که ظرف را به دو قسمت تقسیم می‌کند؛ قسمت بالای ورقه مخزن آب است. وقتی کمی آب از سطل برداریم، شیر پایینی باز می‌شود و مقداری آب از راه شیر به مخزن کوچك می‌رود و از راه لوله به سطل می‌رسد. شناور بالا می‌آید و شیر را می‌بندد. تا وقتی که مقدار آبی که از سطل برمی‌داریم کم باشد، سطل همیشه پر می‌ماند، اما اگر یکباره آب زیادی از آن برداریم، شیر بالایی بسته می‌شود و دیگر جریان آب امکان ندارد. جالبترین خصوصیت این دستگاه این است که شیر بالایی اثر کنترل با بازخورد[۲۸] دارد، و نیز یك شیر جفته روی یك میله نصب شده است. درواقع استفاده از شیر مخروطی ـ که امکان کنترل با آن از شیر مسطح بسیار بیشتر است ـ خصوصیتی است که کار بنوموسی را از پیشینیان یونانی آنها متمایز می‌کند، وگرنه از سایر جهات شباهتهای زیادی میان آثار ایشان وجود دارد. در رسالهٔ هرون دربارهٔ مکانیك، یکی دوبار از شیر مخروطی صحبت شده، اما موضوع صحبت او همان شیرهای فشاری[۲۹] معمولی است که در حمامها به‌کار می‌رود، و مفهوم کنترل خودکار[۳۰] که در همه جای کتاب بنوموسی دیده می‌شود، در آن به چشم نمی‌آید. شیر مخروطی از اجزاء مهمی است که در مهندسی جدید به‌کار می‌رود، امّا این وسیله تا قرن دهم (شانزدهم میلادی) به زبان مشترك مهندسان اروپایی راه نیافت.

وسیلهٔ دوم چراغی است که خودبخود سوخت می‌گیرد و



شکل ۲

فتیله‌اش خودبخود تنظیم می‌شود. فتیله به انتهای یك میله دندهٔ[۳۱] خمیده و دندانه‌دار وصل است (شکل ۲) و میله دنده توی ریلی[۳۲] در ته چراغ قرار دارد، و چراغ به بدنهٔ روغندان[۳۳] لحیم شده است. چرخدندهٔ واسط[۳۴] بزرگی با میله دنده درگیر است، و این چرخدنده از طریق دو قرقره به شناوری در روغندان متصل است. در قسمت پایینی چراغ سوراخی است که لولهٔ هوا از آن به مخزن وارد می‌شود؛ امّا مخزن از سایر جهات کاملاً هوابندی[۳۵] است، یعنی سوراخهای مخصوصی دارد که روغن از راه آنها وارد می‌شود و درعین حال به هوا اجازهٔ ورود نمی‌دهند. وقتی فتیله روشن می‌شود روغن چراغ به مصرف می‌رسد تا به اندازه‌ای که راه هوا باز می‌شود. دراین حالت روغنی که در روغندان است از راه لوله‌ای به داخل قسمت بالای چراغ می‌ریزد، تا اینکه دوباره راه هوا بسته شود. وقتی سطح روغن در روغندان پایین می‌آید، شناور پایین می‌رود، و درنتیجه چرخدندهٔ واسط به چرخش درمی‌آید و این امر میله‌دنده را که فتیله به آن متصل است به حرکت درمی‌آورد و فتیله به اندازهٔ لازم بیرون می‌زند. درطرح این دستگاه لازم بوده است در اندازه‌ها دقت کافی بشود، به‌طوری که فتیله به اندازه‌ای بیرون بیاید که شعله‌ای با روشنایی مطلوب تولید شود.

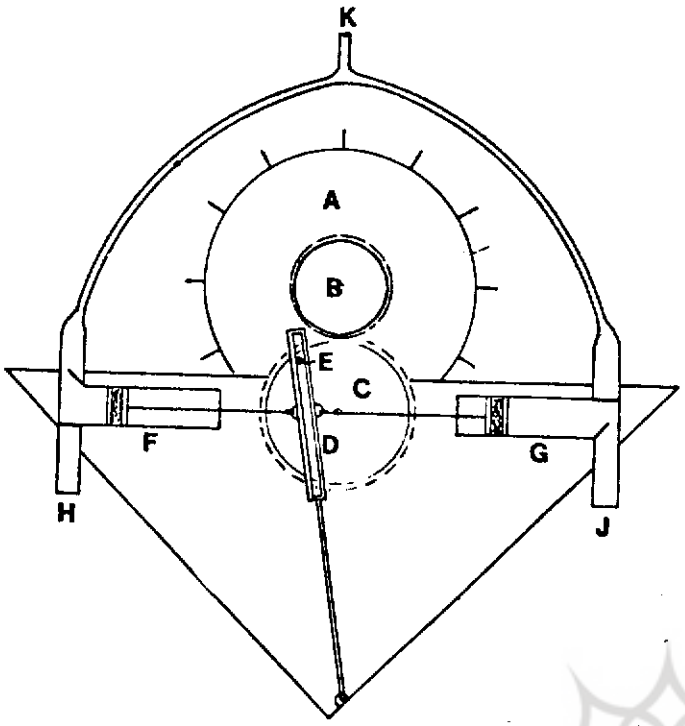
در کتاب بنوموسی بیش از آنکه به جنبه‌های عملی مهندسی توجه شده باشد، توجه به جنبه‌های نظری مکانیك به چشم می‌آید. ابعاد قطعات به ندرت ذکر می‌شود و معمولاً از موادی که به‌کار می‌رود سخنی به میان نمی‌آید، و فقط به ذکر دستورات بسیار کلی و گنگ در مورد ساخت دستگاهها اکتفا می‌شود. به‌احتمال زیاد، خود بنوموسی صنعتگران ماهری نبوده‌اند، و صنعتگران دیگری دستگاهها را از روی طرح آنها می‌ساخته‌اند. بی‌شك این رابطه یکجانبه نبوده است، زیرا همیشه صنعتگران هم، اغلب با الفاظی خشن، به طراحان از بابت عملی بودن طرحهایشان هشدار می‌داده‌اند. از ظرافت و پیچیدگی بسیاری از دستگاهها چنین برمی‌آید که در بغداد آن زمان گروهی فلزکار بسیار ماهر می‌زیسته‌اند. با این حال، آنچه درخور بیشترین ستایش است خود دستگاههاست، که به فهم عمیق و تجربی آثار فشار دیفرانسیلی مایعات دلالت دارند. متأسفانه نمی‌توان این مسئله را در این مقاله نشان داد، زیرا برآورد کامل دستاوردهای بنوموسی فقط وقتی ممکن است که کتاب آنها را یکجا و به‌طور دقیق مورد بررسی قرار دهیم.

ادا کردن حق سخن دربارهٔ موضوع دوم بحث، در چارچوب یك مقاله، از این هم دشوارتر است. در سال ۶۰۲ (۱۲۰۶) [بدیع الزمان ابی العزّبن اسماعیل] ابن رَزّاز جَزَری کتاب خود را که دربارهٔ ماشینهاست و کتاب[۵] فی معرفةِ الحیل الهندسیة [الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعةِ الحیل] نام دارد، به پایان برد.[۳۶] تنها چیزی که از زندگی او می‌دانیم همان مطالبی است که خود او در مقدمهٔ کتابش گفته است: به هنگام نوشتن کتاب بیست و پنج سال از پیوستن او به دربار امرای اَرتُقی دیار بَکر می‌گذشته و کتاب را به دستور مولای خود ناصرالدین تألیف کرده است. اَرتقیان سلسله‌ای از ترکمانان بودند که در سراسر قرن ششم (دوازدهم میلادی) حکومت مستقل متزلزلی در جزیره [در

بین‌النهرین میان دجله و فرات] داشتند، هرچند زمانی که جزری به دربار ایشان پیوست خراجگزار صلاح‌الدین ایوبی شده بودند.[۳۷] گواه بارز اهمیت کتاب جزری تعداد نسخه‌هایی است که از آن استنساخ شده است: حداقل دوازده نسخه از این کتاب بازمانده که در فاصلهٔ قرن هفتم تا سیزدهم (سیزدهم تا نوزدهم میلادی) استنساخ شده‌اند.[۳۸]

کتاب به شش مقوله (نوع) تقسیم شده است: ۱) ساعتهای آبی و ساعتهای شمعی[۳۹]، ۲) وسایل سرگرم‌کننده[۴۰]، ۳) وسایلی برای دست‌ورو شستن و وضوساختن و خونگیری[۴۱]، ۴) فواره‌ها و نیهای دایمی[۴۲]، ۵) ماشینهایی برای بالاکشیدن آب[۴۳]، ۶) وسایل گوناگون دیگر.[۴۴] ارزش این کتاب به اهمیت روشها و شیوه‌ها و اجزاء آن منحصر نمی‌شود، بلکه جزئیات روش ساختن هر وسیله با تفصیل تمام، و آن هم توسط شخصی که خود صنعتگر ماهری بوده، شرح داده شده است. این توصیفات آنقدر دقیق و درست است که صنعتگران امروزی می‌توانند از روی آنها ماشینها را نسبتاً به آسانی بسازند (دنبالهٔ مقاله را ببینید). همهٔ توصیفات روشن و منظم است: ابتدا به توصیف کلی ظاهر دستگاه و طرز کار و کاربرد آن می‌پردازد، سپس شرحی دربارهٔ طرز ساختن و سوار کردن هریك از قطعات می‌آورد ـ و دراین زمینه به عملیاتی که باید بترتیب انجام شود توجه کامل دارد ـ وسرانجام طرزکارماشین را بادقت کامل بیان می‌کند. برای هر مدل، تصاویری رسم شده که هم صورت کلی دستگاه و هم طرح دقیق آن را نشان می‌دهد، و روی تصاویر حروف الفبا نوشته شده و در متن به این حروف ارجاع داده شده است. این حروف به هریك از قطعات مربوط می‌شوند و کاملاً با حروفی که در متن به کاررفته مطابقت دارند.

ظاهراً فقط یکی از ماشینهای جزری، به صورت یکپارچه، در تکامل مهندسی اهمیت مستقیم داشته است. این دستگاه تلمبه‌ای است که چرخ پره‌دار[۴۵]ی آن رابه حرکت درمی‌آورد.این چرخ، از طریق مجموعه‌ای از دنده‌ها، میلهٔ شکم خالی[۴۶] نوسانگری را به حرکت درمی‌آورد که میله‌های رابط دو پیستون به آن متصل‌اند (شکل ۳). پیستونها درون دو سیلندر افقی که روبروی هم قرار دارند حرکت می‌کنند، و هر سیلندر دارای لوله‌های مکش[۴۷] و لوله‌های تخلیه[۴۸] است. لوله‌های تخلیه در بالای مرکز ماشین به هم وصل می‌شوند و یك خروجی واحد برای ماشین ایجاد می‌کنند که به سیستم آبیاری وصل می‌شود. این تلمبه از سه جهت درخور توجه است: کاربرد اصل دوبهرگی[۴۹]، تبدیل حرکت دورانی به حرکت رفت‌وآمدی[۵۰]، و اولین مورد استفاده از لوله‌های مکش



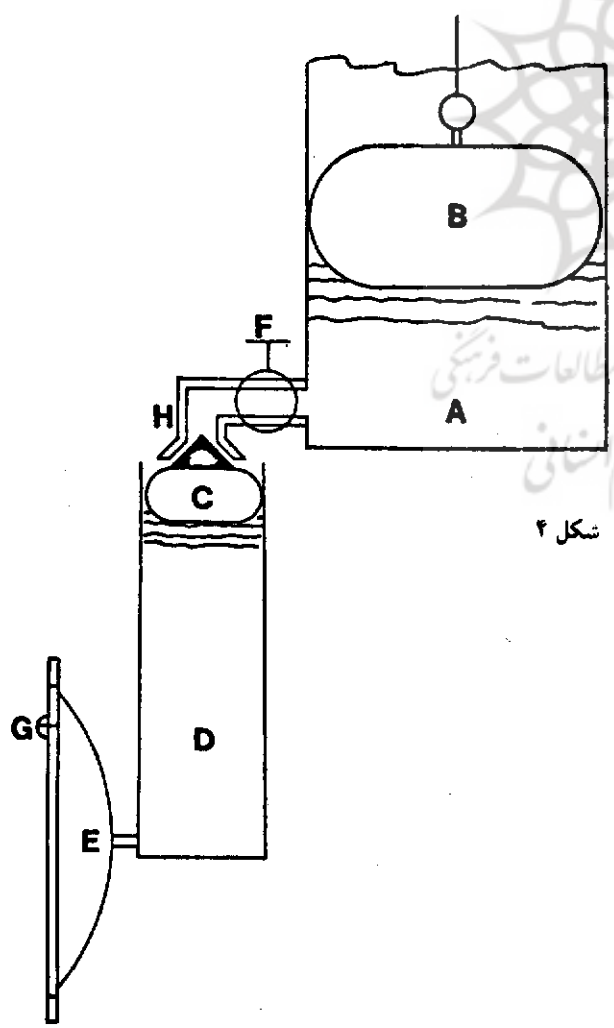
شکل ۳

واقعی که تاکنون شناخته شده است؛ و بنابراین در تکامل موتور بخار و پمپهای رفت‌وآمدی[۵۱] جدید جایگاه ویژه‌ای دارد.

بسیاری ازقطعات و روشهایی که جزری به کار برده است از لوازم اساسی مهندسی جدید به شمار می‌آیند. قبلاً دربارهٔ شیرهای مخروطی، که در کتاب جزری هم فراوان دیده می‌شوند، سخن گفتیم. در مورد بقیهٔ قطعات و روشها به سیاهه‌ای از برخی از آنها اکتفا می‌کنیم: سطلهای کج‌شونده[۵۲] که مایع درون خود را به فواصل زمانی معین تخلیه می‌کنند و امروزه در باران‌سنج و دستگاههای اندازه‌گیری دیگر به کار می‌روند؛ منافذی که طوری مدرج شده‌اند که مایع را با سرعت معینی از خود خارج کنند؛ موازنهٔ استاتیکی[۵۳] چرخها؛ استفاده از مدلهای کاغذی برای تثبیت طرح؛ ورقه‌ورقه کردن چوب برای کاستن از میزان تاب برداشتن آن؛ بادامك[۵۴] ؛ دندهٔ هلالی[۵۵]. دریکی از وسایل آبکشی، بخشی از وسیلهٔ انتقال نیرو را یك میل‌لنگ تشکیل می‌دهد. این اولین موردی است که از کاربرد میل لنگ در ماشینها سراغ داریم، گرچه قرنها پیش از آن استفاده از میل لنگ در آسیابهای کوچك و وسایل بالابر مرسوم بود. جزری هنگامی که ساختن دولنگه در را برای قصری درآمد شرح می‌دهد، ریخته‌گری برنج را در قالبهای بسته و با ماسهٔ تر[۵۶] بتفصیل بیان می‌کنـــد. این روش تا قرن دهم (شانزدهم میلادی) در اروپا رایج نبود.

اخیراً سه تا از ماشینهای جزری را برای جشنوارهٔ جهانی اسلام در لندن، ۱۹۷۶، ساخته‌اند، که شامل تلمبه، یکی از وسایل خونگیری، و ساعت آبی عظیمی است که در بخش اول از نوع اول شرح داده شده است. این دستگاهها از روی توصیفات جزری ساخته شده و هر سه در کمال خوبی کار می‌کنند. در این میان، ساعت آبی، که بیش از سه مترونیم ارتفاع دارد و عرض نمای آن در حدود یک‌مترونیم است، از همه جالبتر است. چنانکه جزری گفته است، این ساعت، گذشت ساعتهای شمسی یا نامساوی (مُعوَجّه)را نشان می‌دهد. یعنی روز و شب هر یک به دوازده قسمت تقسیم می‌شود و بدین طریق «ساعت»هایی به دست می‌آید که طول آنها در روزهای مختلف، و نیز در مدت یک شبانروز معین از روز به شب، فرق می‌کند. سر هر ساعت، دو شاهین گلوله‌ای را از منقار خود به روی سَنجی رها می‌کنند، دری باز می‌شود و پیکرهٔ ایستاده‌ای نمایان می‌شود، در دیگری باز می‌شود و چشمهٔ دیگری را به نمایش می‌گذارد، و یک گوی از دوازده گوی شیشه‌ای کاملاً روشن می‌شود. در بالای ساعت قُرصی است که منطقة البروج را نشان می‌دهد و در تمام شبانروز با سرعت ثابت می‌چرخد. تمام وسایلی را که تا اینجا گفتیم شناوری به‌کار می‌اندازد که با سرعت ثابت در داخل مخزن استوانه شکلی پایین می‌رود. ریسمانی که به بالای شناور متصل است از دستگاهی از قرقره‌ها می‌گذرد، و این قرقره‌ها سازوکارهای راه‌انداز[۵۷] را به حرکت و قُرص دایرة البروج را به چرخش درمی‌آورند. در سر ساعت ششم و نهم و دوازدهم دسته‌ای از مطربان ـ دوطبال، یک سنج‌زن، و دو شیپورزن ـ ساز می‌نوازند. این پدیده بدین طریق به‌وجود می‌آید که آب خارج شده از دستگاه در داخل ظرف خاصی جمع می‌شود و سر موقع بیکباره از آن خارج می‌گردد. آب خارج شده، ابتدا از روی چرخ پره‌داری عبور می‌کند، بادامکهایی که بازوان مطربها را به حرکت درمی‌آورند روی محور این چرخ سوار شده‌اند، آنگاه آب به ظرف هوای بسته‌ای جریان می‌یابد، هوا را به داخل یک سوت مکانیکی می‌راند، و بدین ترتیب صدای شیپور تولید می‌شود.

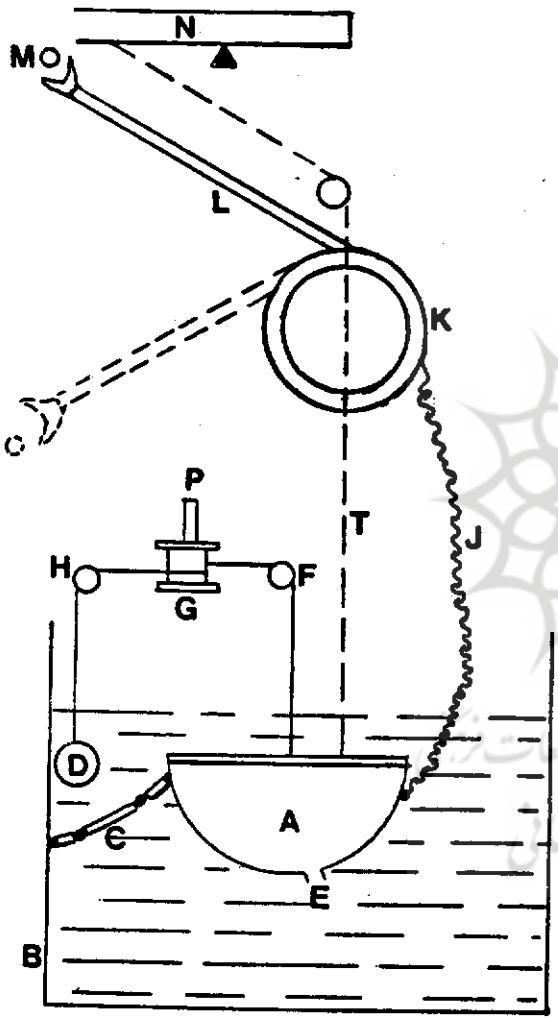
دستگاه آبیی که پایین آمدن یکنواخت سطح آب مخزن را تضمین می‌کند شاهکار دقت در مهندسی است. مخزن با استفاده از یک الگوی چوبی و ترازهای آبی، طوری ساخته شده است که سطح مقطع آن کاملاً یکنواخت است (شکل ۴). یک شیر دستی که از برنج ریخته‌ای ساخته شده، در ته مخزن قرار دارد. دهانهٔ این شیر، قسمت ثابت یک شیر (سوپاپ) قائم را پدید می‌آورد. قسمت متحرک و مخروطیِ شیر اخیر به شناوری لحیم شده است. شناور در داخل ظرفی است که کنار مخزن و اندکی پایینتر از ته آن قرار دارد. بنابراین وقتی که شیر دستی مخزن باز باشد، آب به ظرفی که شناور در آن قرار دارد وارد می‌شود و در نتیجه شیری که به شناور لحیم شده است فوراً بسته می‌شود، آنگاه آب از ظرف خارج می‌شود و شیر برای لحظه‌ای باز می‌شود. بدین طریق سطح آب در ظرفی که شناور در آن قرار دارد تقریباً ثابت می‌ماند ـ در واقع پایین و بالا رفتن سطح آب ظرف با چشم غیر مسلح تشخیص داده نمی‌شود. (کنترل سطح با سیستم بسته‌ای از این نوع، در قرن هجدهم میلادی در انگلستان برای تنظیم آب ورودی به دیگ مجدداً اختراع (؟) شد.) آب پس از خروج از محفظهٔ شناور به تنظیم‌کنندهٔ جریان وارد می‌شود، که اساساً دستگاهی است که روزنهٔ خروج آب را یک دور کامل به حرکت در می‌آورد، و بدین طریق فشار استاتیکی[۵۸] روی روزنه را روز به روز تغییر می‌دهد. روش جزری در مدرج کردن تنظیم کنندهٔ جریان بسیار درخور توجه است. وی ابتدا مقدار آبی را که باید در هر ساعت خارج شود



شکل ۴

برای همهٔ ماههای سال حساب کرد؛ آنگاه روزنه را، که یك قطعه جِزع[۵۹] سوراخ شده بود، برای بالاترین وضعیت، یعنی روز انقلاب صیفی[۶۰] تنظیم کرد و سپس روزنه را با سیم مسی و سُمباده گشادتر کرد تا جریان مورد نظر حاصل شود. همهٔ وضعیتهای دیگر را از راه آزمون و خطا و با سعی فراوان معین کرده است. مدرج کردن روزنه کار بسیار دقیقی است، زیرا قطر آن از یك میلیمتر کمتر است و کوچکترین تغییر قطری تغییر بسیار زیادی در سرعت جریان به وجود می‌آورد.

سرانجام باید از یك ساعت آبی دیگر یاد کنیم که فقط در کتاب جزری دیده می‌شود و احتمالاً اختراع خود او بوده است. این ساعت اساساً جامی است که سوراخی در زیرش دارد و طرجهار خوانده می‌شود (شکل ۵). این جام در مخزنی قرار گرفته و با زنجیر لولاداری به کنار آن متصل شده است. از کنارهٔ جام زنجیری بالا می‌رود و به حلقه‌ای می‌رسد که میله‌ای توخالی با سر اژدها به آن متصل است ـ حلقه و سر اژدها در واقع تشکیل یك بازوی اهرم می‌دهند. از میله‌ای که روی قسمت فوقانی و بازِ طرجهار قرار گرفته، ریسمانی به بالا می‌رود و به دستگاه رهاکنندهٔ گویها که بالای بازوی اهرم قرار دارد متصل می‌شود. گویها در داخل خزانه‌ای قرار دارند که مجرای خروجی آن به سر شاهین راه دارد. وقتی مخزن از آب پر می‌شود طرجهار بآرامی در آب فرو می‌رود و در مدت سی یا شصت دقیقه کاملاً زیر آب می‌رود. وقتی طرجهار به زیر آب رفت، سازوکار رهاکنندهٔ گویها یك گوی را به سر شاهین می‌فرستد. این گوی در دهان اژدها می‌افتد، سر اژدها پایین می‌آید و هنگامی که کاملاً پایین آمد گوی را روی سنجی فرو می‌اندازد. در مدتی که این اعمال انجام می‌گیرد طرجهار در اثر چرخش حلقه بالا می‌آید و کج می‌شود. در نتیجه آب درون آن خالی می‌شود و دوباره بر سطح آب قرار می‌گیرد و دَور از سرگرفته می‌شود.



شکل ۵. اساس کار ساعت طرجهار

هرچه دربارهٔ اهمیت کتاب جزری در تاریخ مهندسی بگوییم، کم گفته‌ایم. جز در دوران جدید، از هیچ زمان و از هیچ حوزهٔ فرهنگی کتابی به دست ما نرسیده است که از حیث غنای دستورهای طرح و تولید و سوار کردن ماشینها با این کتاب برابری کند، و بی‌شك یکی از دلایل این امر این است که معمولاً میان سازندگان و نویسندگان از لحاظ فرهنگی و اجتماعی فاصله‌ای وجود داشته است. هنگامی که محققان به توصیف دستگاهی می‌پرداختند که صنعتگر بی‌سوادی ساخته بود، معمولاً به نتیجهٔ کار توجه داشتند و از کار پر دردسر ساختمان دستگاه نه سر در

می‌آوردند و نه می‌خواستند سر در بیاورند. عامل دوم این است که صنعتگران، حتی اگر خواندن و نوشتن می‌دانستند، از اینکه دانش خود را به رقیبان بالقوهٔ خود انتقال دهند ابا می‌کردند و ترجیح می‌دادند که آن را شفاهاً به پسران خود بسپارند. جزری می‌گوید که به دلیل دیگری در به روی کاغذ آوردن نتایج کار خود تردید می‌کرده، و آن ترس از انتقاد شدید بوده است؛ و این کار را فقط محض اطاعت از فرمان مولای خود انجام داده است. از این‌رو این امیر گمنام که باعث شده است چنین سند بی‌مانندی به دست ما برسد حق بزرگی بر گردن ما دارد. اتکای ما به کتاب جزری آنقدر زیاد است که گاه باعث می‌شود از توجه به زمینهٔ کلی این علم و تاریخ آن در اسلام غافل بمانیم: هرچه باشد، میان بنوموسی و جزری بیش از سه قرن فاصله هست، و مفاتیح العلوم و شواهد دیگر گواهی می‌دهند که این مدت به هیچ وجه دوران رکود نبوده، و بی گمان فنون مکانیکی هر جا و هر زمان که شرایط مساعد بوده رونق می‌یافته است.

برای آنکه برآورد درستی از دستاوردهای مسلمانان در فن مکانیک داشته باشیم، نخست باید به انتقادهایی که از آنها شده است بپردازیم. نخستین انتقاد به بیحاصلی و ابتذال وسایلی که ساخته می‌شد مربوط می‌شود. شک نیست که این انتقاد تا اندازه‌ای بجاست ـ گرچه مهندسان مسلمان در بیشتر موارد جز اجرای درخواستهای امیرانی که به ایشان حقوق می‌دادند کاری نکرده‌اند ـ اما عوامل مهمی چون سنت ساختن ماشینهای سودمند که به موازات ماشینهای دیگر ادامه داشته است، ماشینهای سودمندی که وصفشان در کتب حیل آمده، ارزش ذوقی بسیاری از وسایل، و اهمیت بسیاری از اجزاء و روشهایی که در این کتابها بیان شده است در این انتقاد نادیده گرفته شده است. دربارهٔ دو نکته اخیر بعداً به تفصیل بیشتر بحث خواهیم کرد، اما تذکر این نکته را بجا می‌دانیم که بسیاری از مورخان تکنولوژی، بویژه در غرب، معمولاً به ماشینهای اولیه فقط از لحاظ رابطه‌ای که با پیشرفت مادی داشته‌اند نگاه می‌کنند.

امیران حامی مهندسان مسلمان مردمان خوشذوقی بودند، و احتمالاً طالب چیزهایی بودند که خوشایند حواس باشد و باغ قصر خود را با آن تزیین کنند، و دلیل وجود ساعتهای آبی که پیکره‌های انسانی و پرندگان و چهارپایان و پدیده‌های نجومی را نمایش می‌دهند و نیز فواره‌هایی که هر دم به شکلی در می‌آیند، همین است. پیکره‌ها اسلاف پیکره‌هایی هستند که در ساعتهای کلیساهای جامع اروپا دیده می‌شوند و احیاناً با «آدمکها»ی جاندار چون پینوکیو و پتروشکا[۶۱] هم نسبت دارند، و نسب باغهای پرآب ثروتمندان اروپایی نیز به فواره‌ها می‌رسد. انسان همیشه دوست داشته که پدیده‌های زیستی و نجومیی را که می‌بیند در اطراف خود بیافریند و مهندسان مسلمان هم به تشویق حامیان خود، از این سُنت پیروی می‌کردند، اما این کار را با نهایت ظرافت انجام می‌دادند. هرگز از هنر خود برای ترسیم و تجسم شمایل‌اولیای دین استفاده نمی‌کردند و حکام زمینی را در جامهٔ آسمانی نشان نمی‌دادند. پیکره‌های انسانی، پیکره‌های غلامان و درباریان است و جانوران هم اعمال عادی خود را انجام می‌دهند. گرچه تعمق در این موضوع از حوصلهٔ این مقاله بیرون است، اما بد نیست تذکر دهیم که نمایش و باز آفرینی پدیده‌های زیستی و حیوانی یکی از عواملی است که باعث شد انسان جهان را به چشمی عقلانی و مکانیستی بنگرد. البته با خوب و بد این امر کاری نداریم.

اکنون به مسئلهٔ حساس جایگاه مسلمانان در تکامل فن مکانیک و مقایسهٔ آنان با پیشینیانشان، از جمله یونانیان، و اخلاف آنان در اروپای غربی می‌رسیم. هر نتیجه‌ای که در این باره بگیریم قطعیت ندارد، زیرا پژوهشهایی که در تکنولوژی اسلامی شده ناچیز است و نیز بسیاری از مدارک دستاوردهای یونانیان از بین رفته است. با این حال باید با تکیه بر دانش فعلی خود نهایت سعی را بکنیم و توجه داشته باشیم که کمترین دستاورد مسلمانان ترکیب شیوه‌های قبلی مهندسی و افزودن بر آن و انتقال مجموعهٔ این معلومات به حوزه‌های فرهنگی دیگر بوده است. کارهای زیر را می‌توان دستاوردهای خاص مسلمانان دانست: تلمبهٔ جزری، ساعتهای طرجهارِ جزری، استفاده از شیر و شیر دستی ـ چه تنهایی و چه به طور جفته ـ برای کنترل با بازخورد، ریخته‌گری فلزات در قالبهای بسته با ماسهٔ تر؛ استفاده از میل لنگ در ماشینها؛ سطل کج شونده به صورت نهایی آن؛ و دنده‌های هلالی. همچنین سازوکارهای بدیعی چون لولاهای یکسویه، ساز و کار رهاکنندهٔ گوی، و ساز و کارهای راه انداز هم وجود داشته که برای ماشینهای خاص ساخته می‌شده است. از خصوصیات مهم مهندسی اسلامی استفادهٔ فراوان از سازوکارهایی است که با تأخیر عمل می‌کنند، مثلاً باز شدن یا بسته شدن شیری را آنقدر به تأخیر می‌اندازند تا زمان معینی بگذرد. اگر از موارد خاص بگذریم و به روشهای کلیتر بپردازیم، می‌بینیم که مهمترین وجه مشخص مسلمانان کوشش همیشگی برای دست یافتن به کنترل است، تا با استفاده از آن بتوانند ماشینهایی بسازند که بدون دخالت آدمی مدت زیادی کار کنند. آگاهانه بودن این تلاش از نکته‌ای که

جزری در مورد ماشینهایی «با روشهای بدیع کنترل» گفته پیداست. مثالهای پیشین ـ طشت و چراغ بنوموسی، ساعتهای جزری ـ همه این توجه فراوان به کنترل را نشان می‌دهند. در واقع روشهایی که به این منظور و برای مقاصد خاص ابداع می‌شد، اغلب بیش از حد لزوم پیشرفته و پیچیده بود؛ مثلاً برای اینکه فشار استاتیکی ثابتی داشته باشیم، راه ساده‌تر این است که یك لولهٔ تخلیه به‌بالای ظرف وصل کنیم تا اینکه از شیر و کنترل با بازخورد برای این کار استفاده کنیم. اما شك نیست که جستجوی راه حلهای ظریف و بدیع برای مسائل مهندسی نوعی رضایت خاطر ذوقی به انسان می‌بخشد، نوعی کنجکاوی است که انسان را از حدی که ضرورت صرف اقتضا می‌کند فراتر می‌برد. مهندسان مسلمان از این احساس کنجکاوی بهره‌مند بودند و بدان میدان می‌دادند و با این کار مجموعه‌ای از مفاهیم از خود به یادگار گذاردند، و قرنها بعد، وقتی مهندسان آنقدر پیش رفتند که قادر به استفادهٔ عملی از این مفاهیم شدند، آنها را حاضر و آماده در دسترس داشتند. خلاصهٔ کلام، آنچه مسلمانان را از یونانیان متمایز می‌کند این است که پاره‌ای از اجزاء و روشهای بسیار مهم را به گنجینهٔ مهندسی افزوده‌اند و مهمتر اینکه اصل کنترل خودکار را به نحو کاملتری به کار بسته‌اند.

در قرون وسطی، تکنولوژی اروپایی به خلاف علم و هنر که به رکود همه جانبه‌ای دچار بود از پیشرفت باز نماند و در قرن ششم (دوازدهم میلادی) در فن ماشین سازی در غرب حرکتی ایجاد شده بود که هم از خود نیرو می‌گرفت و هم از اندیشه‌های حوزه‌های دیگر. اگر مطلب را بیش از حد ساده کنیم، می‌توان گفت که اندیشه‌های مسلمانان در سه مورد مهم در تکامل ماشینهای جدید تأثیر داشته است: یکی اختراع ساعتهای مکانیکی، دیگری انقلاب علمی قرن یازدهم (هفدهم میلادی)، و سوم انقلاب صنعتی قرن دوازدهم (هجدهم میلادی). در آغاز قرن هشتم (چهاردهم میلادی) ساعت مکانیکی که با وزنه کار می‌کرد در اروپا پیدا شد و چیزی نگذشت که همهٔ شهرهای اروپایی از بابت ساعت کلیسای جامع خود، که دارای زنگها و مجسمه‌های خودکار بود، برخود می‌بالیدند.

نمونهٔ جالب این سنت ستاره‌نما[۶۲]یی است که جیووانی دِدُندی به سال ۱۳۶۵ میلادی ساخت.[۶۳] این ستاره‌نما با وزنه کار می‌کند و توسط دستگاه پیچیده‌ای از دنده‌ها حرکات خورشید و ماه و سیارات، و از جمله حرکات رُجعی[۶۴] آنها، را نشان می‌دهد. شباهت ذاتی ساعتهای آبی مسلمانان با ساعتهای مکانیکی اروپاییان اعجاب‌آور است: هر دو با وزنه کار می‌کنند ـ گرچه در ساعتهای آبی عمل چرخ دَنگ را پایین آمدن کنترل شدهٔ سطح آب انجام می‌دهد ـ در هر دو آسمانها و کواکب به نمایش در می‌آید و در هر دو از عروسکهای متحرك که به شکل موجودات زنده ساخته شده‌اند استفاده می‌شود. گذشته از این، در هر دو نوع ساعت از سازوکارهای مشابهی استفاده می‌شود: دنده، بادامك و غیره. می‌دانیم که ساعت آبی در صومعه‌ها مرسوم بود و در دربار آلفونسوی دهم، شاه کاستیل[۶۵] از این ساعتها استفاده می‌کردند[۶۶] و بی‌شك منابع اسلامی در این کار تأثیر داشته است. بنابراین با اطمینان می‌توان گفت که ساعتهای آبی مسلمانان در پیدایش ساعت مکانیکی تأثیر مستقیم داشته و از این طریق در تکامل کلی فن مکانیك نیز به طور غیر مستقیم مؤثر بوده است، زیرا بسیاری از ماشینهای امروزی از ساعتسازی سرچشمه می‌گیرند.

گرچه انقلاب علمی تا اندازه‌ای ناشی از تغییر دیدگاه فلسفی بود، اما علت عمدهٔ آن وجود گروه پرشماری از ریاضیدانان عملی است که دربارهٔ فنون سودمند ریاضی کتاب می‌نوشتند یا ابزارهای ریاضی و علمی می‌ساختند.[۶۷] بنابراین می‌توان گفت که در آغاز نخستین همکاری واقعی میان مهندسان و دانشمندان گروه اول برای گروه دوم وسایل کار می‌ساخت، به خلاف امروز که مهندسان با کاربرد نتایج علمی به هدفهای عملی خود دست می‌یابند. از میان ابزارسازان ساعتسازها از همه مهمتر بودند و بدین گونه می‌بینیم که چگونه ساعت آبی مسلمانان از راه ساعت مکانیکی در انقلاب علمی مؤثر افتاد. ابزار دیگری که در این دوران بر ابزارسازی علمی بسیار تأثیر داشت اسطرلاب بود[۶۸] که مهمترین آلت علمی قرون وسطی بود و هنوز هم برای تعلیم هیئت، وسیلهٔ مفیدی است. سنت طرح و ساخت اسطرلاب از مسلمانان به اروپاییان رسید، اما اروپاییان هرگز در مهارت به پای اسطرلابسازان مسلمان نرسیدند. برخی از قطعات و اجزاء دستگاهها هم اهمیت داشته‌اند: مثلاً دندهٔ هلالی، که جزری در دو تا از چرخابه‌هایش به کار برده است در اروپا در ساعت دِدُندی دیده می‌شود و بلزپاسکال[۶۹] (۱۶۲۳ـ۱۶۶۴ میلادی) هم در ماشین محاسبهٔ خود که پیشدرآمد ماشینهای محاسبهٔ امروزی است، آن را به کار برده است.

بآسانی می‌توان صفحاتی را از نام قطعات و اجزایی که از مسلمانان گرفته شده و از آغاز انقلاب صنعتی تا زمان ما در ماشینها به کار رفته، پر کرد، بخصوص سازوکارهای ظریف، دستگاههای کنترل و اتصالات. چنانکه پیشتر گفتیم، شیر مخروطی یکی از اجزاء مهم بسیاری از ماشینهای جدید است و اساس کار شیر جُفتهٔ بنوموسی همان اساس کار شیر لغزشی در موتورهای بخار دوبهرهٔ امروزی است. گرماسنج گازی[۷۰] س. و. بویز[۷۱] که دارای دستگاه ثبات دائمی است و حدود چهل و پنج سال پیش تکمیل شده و هنوز هم کاربرد دارد، دارای ساعتی است که از یك چرخ آبی، که در یك سیستم آبی مدار بسته تعبیه شده، نیرو می‌گیرد. اندازه‌گیری آب را یك سطل کج شونده انجام می‌دهد، این سطل طوری قرار دارد که وقتی آبی به آن وارد نمی‌شود افشانهٔ آب چرخ آبی را به حرکت درمی‌آورد. سطلهای کج شونده متناوب هنوز هم در ماشینهای تولیدی به کار می‌رود.[۷۲] مفاهیم و قطعاتی که مسلمانان واضع آنها بوده‌اند در دستگاههای اندازه‌گیری، ماشینهای خودکار فروشنده و ابزارهای بادی نیز به کار می‌رود. مهمتر از همه اینکه ریشهٔ مفاهیم امروزی کنترل با بازخورد و حتی مفهوم خودکاری[۷۳] را هم می‌توان در اشتغال خاطر مسلمانان با دستگاههایی که خود بخود کار می‌کنند یافت.

تا اینجا نشان دادیم که مسلمانان مجموعه‌ای از دانش مهندسی را از یونانیان و نیز ملتهای دیگر گرفتند و با افزودن مفاهیم و تکنیکهای جدید آن را تصفیه و تکمیل کردند. و نیز نشان دادیم که طرح ماشینهای امروزی انگیزه‌های مهمی از فن مکانیك اسلامی گرفته است. اما وقتی به نحوهٔ انتقال این دانشها می‌پردازیم پابه عرصهٔ حدس و گمان می‌نهیم. به خلاف علوم پزشکی و ریاضی و فلسفهٔ اسلامی که به گواهی شواهد فراوان از راه نوشته به اروپا راه یافته است، نحوهٔ انتقال اندیشه‌های مهندسان را نمی‌توان به این آسانی تعیین کرد. این تا اندازه‌ای بدین علت است که هنوز تحقیق اساسی دربارهٔ موضوعات فنی صورت نگرفته است، هنوز علم ما به نوشته‌های اسلامی کافی نیست. شاید در قرون وسطی برخی از نوشته‌های مسلمانان به زبانهای اروپایی ترجمه شده باشد. همین اواخر معلوم شد که ترجمهٔ اثری از عربی بر طرح و صورت کمدی الهی دانته تأثیر داشته است[۷۴] و بنابراین شاید مهندسان دوران رنسانس هم ترجمه‌هایی از متون عربی در اختیار داشته‌اند. اما اگر این گونه شواهد کتبی هم کشف نشود، فرض نفوذ اندیشه‌های مهندسان مسلمان در اروپا از اعتبار ساقط نمی‌شود. اندیشه‌های فنی در بسیاری از موارد از راه سفرنامه‌های سیاحان، مشاهدات بازرگانان، تماس مستقیم میان صنعتگران، و وارسی نمونه‌های قدیمی از یك حوزهٔ فرهنگی به حوزهٔ دیگر راه یافته‌اند. تا دوران جدید، این نوع تأثیر متقابل رایجتر و پرثمرتر از ارتباط کتبی بود. در فاصلهٔ قرن سوم تا هفتم (نهم تا سیزدهم میلادی) و پس از آن در جاهای مختلفی روابط نزدیك بازرگانی و فرهنگی میان جهان اسلام و اروپا برقرار شد، که از آن جمله می‌توان از مبادلهٔ سفیر میان دربار عباسی و دربار کارولنژی[۷۵]، سیسیل در دورهٔ تسلط اعراب و نورمانها[۷۶] و هوهنشتافن[۷۷]ها، پیمانهای دادو ستد میان شهرهای بازرگانی ایتالیا و شرق مدیترانه، و مهمتر از همه تداخل اسلام و مسیحیت در شبه جزیرهٔ ایبری در طول چندین قرن نام برد. گذشته از این دورهٔ اوج قرون وسطی عصر طلایی سیر و سفر بود ـ چه برای جهانگردان مسیحی و چه برای سیاحان مسلمان ـ و بسیاری از این سیاحان بزرگ آدمهای جامع الاطرافی بودند که در راه کسب خبر یا دیدار دانشمندان معروف هر رنجی را بر خود هموار می‌کردند. با اطمینان‌خاطر می‌توان حدس زد که اندیشه‌های مسلمانان از چنین راههایی، همچنان که از راه نوشته، به آثار مهندسان دوران رنسانس مانند جیووانی دِدُندی، لئوناردوداوینچی، آنتونیوداسان گالوی[۷۸] اصغر، و اگوستینوراملی[۷۹] راه یافته است. از پرتو روح ماجراجوی این مهندسان که در پی فایدهٔ مادی نبودند، مجموعهٔ کاملی از ابزارهای ظریف و وسایل کنترل، که بسیاری از آنها منشأ اسلامی داشت، به وقت ضرورت در اختیار انقلاب علمی و انقلاب صنعتی قرار گرفت.[۸۰]

در پایان سخن، دوست دارم بار دیگر نکته‌ای را که ضمن این مقاله چند بار بدان اشاره شد تذکر دهم، یعنی اینکه باید هرچه زودتر تحقیق جامعی انجام گیرد که شامل کاوشهای باستانشناسی، ویرایش متن عربی آثار ناشناخته، و بررسی زمینهٔ تاریخی و مضمون اجتماعی تکنولوژی اسلامی در دورهٔ قرون وسطی باشد.

امیدوارم زمانی برسد که تاریخ این موضوع، یکجا، در اختیار محققان و متفکران سراسر جهان قرار گیرد. در چنین برنامه‌ای محققان مسلمان می‌توانند و باید نقش مهمی ایفا کنند، زیرا

گذشته از سهم گرانقدری که در این کار می‌توانند داشته باشند، فقط ایشانند که می‌توانند ملتهای مسلمان را از میراث فنی خود آگاه کنند. من از کسانی نیستم که گریز از تکنولوژی را ممکن می‌دانند، و کسانی را که چنین نظری دارند از لحاظ تاریخی، بسیار کوته‌بین می‌دانم. من معتقدم که باید از تکنولوژی، در کنار حوزه‌های دیگری، هوشمندانه استفاده کرد تا خطاهای گذشته جبران شود و رفاه آدمی تأمین گردد. بسیاری تکنولوژی جدید غربی را در دیگر جاهای جهان چیزی بیگانه دانسته‌اند، و این دید یکجانبه بسیار پرزیان بوده و آثار منفی خطرناکی داشته است. من اعتقاد دارم که اگر مسلمانان سهم خود را در تکنولوژی دریابند، بار دیگر قافله سالار پیشرفت تکنولوژیکی خواهند شد.

---

1. nozzle 2. automata 3. orifice 4. tap

۵. valve. مطلق شیر است، اما در این مقاله به معنای شیر خودکار (یا سوپاپ) به کاررفته است. بنابراین برای جلوگیری از اشتباه، ناگزیر tap را به «شیردستی» ترجمه کردیم.

6. watertight

۷. scoop - wheel؛ در اصل کتاب جزری: دُولاب الکفّات.

۸. vaned - wheel؛ در اصل جزری: دولاب ذوفرجات.

۹. flow regulator؛ در اصل جزری: دستور، و دستور لمخرج الماء.

10. differential pressure

11. *Pneumatics*

12. Philon of Byzantium

13. Carra de Vaux, "Le Livre des Appareils Pneumatiques et des Machines Hydrauliques Par Philon de Byzance", *Paris Académie des Inscriptions et Belles Lettres*, 8 (1903), pt. 1.

14. Hero of Alexandria

15. Woodcroft, B., *The Pneumatics of Hero of Alexandria*, London, 1851.

چاپ جدید آن (۱۹۷۱) با مقدمه‌ای از Marie Boas Hall مرجع است.

16. Wiedemann, E. and Hauser, F., "Uhr des Archimedes und zwei andere Vorrichtungen" *Nova Acta. Abh. der Kaiserl. Leop. Carol Deutschen Akademie der Naturforscher*, 103 (Halle 1918), No. 2, 164-202.

چاپ جدید آن به انگلیسی:

D. R. Hill, *On the Construction of Water - Clocks*, Turner and Devereux, London 1976.

17. Diels, H. Über die von Prokop beschriebene Kunstuhr von Gaza", *Abh. der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, Philos-Hist. Klasse, No. 7 (Berlin 1917).

۱۸. تنها نسخه‌ای که از رسالهٔ رضوان می‌شناسیم نسخهٔ کتابخانهٔ پژوهشی دانشگاه گوتا (Forschungsbibliothek) (Gotha) به شمارهٔ Arab. 1348 است. مطلبی که در متن آمده از برگ 4R این نسخه نقل شده است. همچنین ر. ك.:

Wiedemann, E. and Hauser, F., "Über die Uhren in Bereich der Islamischen Kultur", *Nova Acta*, 100 (Halle 1915), 176-266.

19. al - Khuwārizmi, Abū Abd Allāh Muhammad b. Ahmad, *Liber Mafātih al Olūm*, Arabic text. Edited with critical apparatus in Latin by G. van Vloten, Leiden 1895.

[این کتاب به فارسی ترجمه شده است: ترجمهٔ مفاتیح العلوم، ابوعبدالله محمدبن احمدبن یوسف کاتب خوارزمی، ترجمهٔ حسین خدیوجم، بنیاد فرهنگ ایران (تهران، ۱۳۴۷). بخش مربوط به علم حیل باب هشتم این کتاب است (صص ۲۳۱-۲۴۰).]

۲۰. ر. ك. پانوشت شمارهٔ ۱۸.

21. Derek de Solla Price, "Mechanical Water Clocks of the 14th Century in Fez, Morocco", *Proceedings of the Xth International Congress of the History of Science*, Ithaca N. Y. and Philadelphia 1962.

۲۲. یك نسخه از آن در واتیکان (شمارهٔ 317) موجود است. نسخهٔ دیگر دوپاره است، پاره‌ای در گوتا (Arab. 1349) و پارهٔ دیگر در برلین (von Ahlwardt No. 5562). همچنین ر. ك.:

Hauser, F., "Über das Kitāb al - Hiyal - das Werk über die sinnreichen Anordungen der Banū Mūsā", *Abh. zur Gesch. der Naturwissenschaften und der Medizin*; And Wiedemann and Hauser, "Über Trinkgefässe und Tafelaufsätze nach al - Gazari und den Banu Mūsā ', *der Islam*", 8 (1918), 268-291.

[اخیراً متن اصلی این کتاب به ویرایش احمد یوسف الحسن تحت عنوان کتاب الحیل لبنی موسی از سوی معهدالتراث العلمی العربی (حلب، سوریه) منتشر شده است.]

23. float 24. conical valve 25. screw - and - pinion

26. rack - and - pinion

۲۷. double - valve seat، در اصل کتاب به جای واژهٔ seat که در این مقاله به «جاشیری» یا «قسمت ثابت شیر» ترجمه شده، واژهٔ «اُنثی» به کار رفته که آن را به «مادگی» هم می‌توان ترجمه کرد.

28. feed - back control 29. push - pull 30. automatic control
31. rack 32. guide 33. oil reservoir
34. pinion 35. airtight
36. Ibn al - Razzaz al - Jazari, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices*. Translated and annotated by Donald R. Hill, Reidel, Dordrecht, 1974.

[مشخصات متن عربی کتاب چنین است: ابی العزبن اسماعیل الجزری. الجامع بین العلم والعمل النافع فی صناعة الحیل، تحقیق الدکتور احمد یوسف الحسن. معهد التراث العلمی العربی، جامعة حلب (مصادر و دراسات فی تاریخ العلوم العربیة الاسلامیة، سلسلة تاریخ التکنولوجیا ـ۲)، حلب، ۱۹۷۹.]

37. Cahen, Claude 'Le Diyar Bakr au Temps des Premier Urtuqides', *Journal Asiatique* (1935) 219-276.

[در مورد ارتقیان همچنین رجوع کنید به مقدمهٔ دکتر احمد یوسف الحسن برمتن عربی کتاب جزری، صص ۳۵ـ۳۸.]

38. Hill, *op. cit.*, 3-6.

[دکتر حسن در ویرایش متن عربی به پانزده نسخهٔ خطی مراجعه کرده، که یکی از آنها ترجمهٔ فارسی کتاب جزری است که به سال ۱۲۹۱ هـ. ق. ترجمه (یا تحریر؟) شده است.]

۳۹. در اصل: فی عمل بناکیم و قیل فناکین یعرف منها مضی ساعات مستویة و زمانیه [بالماء و الشمع]. واژهٔ فنکان، یا بنکام (ج: فناکین، بناکیم)، که جزری به معنای مطلق ساعت آبی و گاه به معنای ساعت به کار برده، واژه‌ای فارسی است (پنگان، که صورت دیگر مُعرَّب آن فنجان است) ر. ك. دکتر مهدی محقق، تحلیل اشعار ناصرخسرو (تهران، ۱۳۴۴). ص ۱۴۶ـ۴۷. از این گونه واژه‌های فارسی در کتاب جزری فراوان است و خود وی نیز در مقدمهٔ کتاب گفته است: «و استعملت فیما وضعته اسماء اعجمیة اتی بها السابق من القوم و استمرعلیها اللاحق الی الیوم...» (ص ۵).

۴۰. در اصل: فی عمل اوانی وصورتلیق بمجالس الشراب.

۴۱. در اصل: فی عمل اباریق وطساس للفصدوالوضوء.

۴۲. در اصل: فی عمل فوارات فی برك تتبدل و آلات الزمرالدایم.

۴۳. در اصل: فی عمل آلات ترفع الماء من غمرة وبیرلیست بعمیقة و نهرجار.

۴۴. در اصل: فی عمل اشکال مختلفة غیر متشابهة.

45. vaned wheel 46. slot - rod 47. suction pipe
48. delivery pipe 49. double -action principle
50. reciprocating motion 51. recipracating pumps
52. tipping - buckets 53. static balancing 54. cam
55. segmented gear 56. green sand 57. tripping mechanisms
58. static pressure

۵۹. onyx. جزری گاهی هم واژهٔ «جِزعَة» را به معنای مطلق تنظیم کنندهٔ جریان (دستور، دستور لمخرج الماء) به کار می‌برد. در مورد دلیل انتخاب این سنگ برای تنظیم کنندهٔ جریان، نکته‌ای که دکتر محقق از ابن اکفانی نقل کرده در خور توجه است (تحلیل اشعار ناصرخسرو، ص ۱۴۷).

60. summer solstice

۶۱. Petrouchka(یا Petrushka)، نام روسی یك عروسك خیمه شب بازی که در کشورهای دیگر اروپایی به نامهای دیگر معروف است.

62. astrarium
63. Silvio A. Bedini and Francis R. Maddison, 'Mechanical Universe, the astrarium of Giovanni de' Dondi', *Transactions of the American Philosophical Society*, n. Lvi, 5 (1966).
64. retrograde motions

۶۵. ر. ك. دائرة المعارف فارسی، مادهٔ «آلفونسوی X».

66. Von Bassermann - Jordan, Ernst, *The Book of Old Clocks and Watches*, 4 th Edition. Translated into English by H. Alan Lloyd, London 1964, 337.
67. Derek de Solla Price, *Gears from the Greeks*, New York, 1975, 52.
68. Article 'Asturlab' in *Encyclopaedia of Islam*, New Edition, Vol. I, 722-728.
69. Blaise Pascal 70. gas calorimeter
71. C. V. Boys
72. Needham, Joseph, *Science and Civilisation in China*, Vol. 4, Part 2, 537.
73. automation
74. Cerulli, E., Il *'Libro aella Scala'e la questione della fonti arabo-spagnole della Divine Commedia*, Vatican 1949.

۷۵. ر. ك. دائرة المعارف فارسی، مادهٔ «کارولنژیان».

76. Normans 77. Hohenstaufens 78. Antonio da San Gallo
79. Agostino Ramelli
80. White, Lynn, 'The Flower of Early Renaissance Technology', *Developments in the Early Renaissance*, ed. B. A. Levy (Albany 1972), 51-52.

هنر

هنر خود هرگز پنهان نماند اگرچه نمایش زیادت نرود، چون نسیم مُشك که به هیچ تأویل نتوان پوشانید و هر چند در مستور داشتن آن جد رود آخر راه جوید و جهان معطر گرداند.

نصرالله منشی ـ کلیله و دمنه