

پیشرفت‌های مهندسی مکانیک در ایران قدیم

غلامحسین دانشی

دانشکده مهندسی و علم و مواد، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده: مهندسی مکانیک علم تولید و انتقال حرکت در ماشین و رفتار مواد تحت تأثیر نیروست. طراحی هدف نهایی در مهندسی مکانیک است و طرح‌های خوب برای همیشه پایدار می‌مانند. در این مقاله چند طرح جالب از مهندسان ایرانی در قرون سوم، ششم و هفتم هجری ارائه شده است. این طرح‌ها خارق‌العاده، عملی و در بسیاری موارد هنوز هم قابل استفاده هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که مهندسی مکانیک در ایران قدیم در سطح نسبتاً پیشرفته‌ای قرار داشته است و مهندسان ایرانی در رشته‌های کنترل اتماتیک، مکانیزم‌ها، فواره‌ها، مدارهای هیدرولیک، بالابرها، ماشین کاری و پرداخت مواد سخت و سنگ‌های قیمتی و غیره صاحب‌نظر و دارای ابتکارات و اختراعات مفید فراوان بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: تاریخ مهندسی مکانیک در ایران، مدارهای هیدرولیک، کنترل اتماتیک، مکانیزم‌ها و سوراخکاری سنگ‌های قیمتی.

۱. مقدمه

علم مکانیک قسمتی از علم فیزیک است که در آن طبق تعریف واکنش مواد به نیرو و ایجاد و تبدیل حرکات به یکدیگر بررسی می‌شود. استاتیک، دینامیک و سینماتیک زیرمجموعه‌های علم مکانیک را تشکیل می‌دهند. علی‌اکبر دهخدا در فرهنگ دهخدا می‌گوید که مکانیک یونانی و مناجیق (جمع منجیق) فارسی و عربی از یک ریشه‌اند. به نظر نویسنده لغت‌های استاتیک^۱ یونانی و ایستایی فارسی نیز ریشه مشترک دارند.

طراحی عالی‌ترین مرحله در مهندسی است و یک مهندس مکانیک خوب پس از گذراندن کلیه مراحل علمی و تجربی و رسیدن به مرحله تکامل به افتخار عنوان "مهندس طراح" نایل می‌شود. ارزش طرح در طول زمان مشخص می‌شود. طرح‌های خوب از بوته‌های آزمایش‌های زمان و مکان سربلند بیرون می‌آیند. شکل کلی، طرز کار و مکانیزم عمل بسیاری از ماشین‌آلات و وسایل مکانیکی قدیمی به علت داشتن طراحی بی‌نقص اولیه در طول تاریخ تغییر نکرده است و هنوز هم با همان طرح‌های هزار سال پیش ساخته می‌شوند. آسیاب، توربین، پمپ، دمنده‌های هوا، چرخ دنده‌ها، جراثقال‌ها و ترازوها نمونه‌هایی از طرح‌های قدیمی هستند که هنوز هم به همان شکل اولیه، منتها با دقت و ظرافت بیشتر و مواد اولیه بهتر و برای کار در سرعت‌های بیشتر، ساخته می‌شوند. اجزای اصلی توربین‌های نیروگاه‌های آبی مدرن شبیه اجزای آسیاب‌های آبی هزار سال قبل است. طراحی خوب در مهندسی نادر است و آنچه امروز به عنوان طراحی مهندسی روزمره مطرح می‌شود، اغلب تکرار طرح‌های گذشته برای شرایط جدید است.

۲. طراحی مهندسی قدیم

استفاده از حرکت دورانی و چرخ برای تسهیل حرکت، استفاده از چرخ دنده و تسمه برای انتقال حرکت، استفاده از نیروهای آب و باد برای ایجاد حرکت از هزاران سال قبل مطرح و مورد استفاده بوده‌اند. بسیاری از اختراعات نیز به علت نداشتن کاربرد مشخص

متروکه شدند، برای مثال، گرچه استفاده از حرارت و نیروی بخار برای ایجاد حرکت به دفعات مطرح شد، ولی چون کاربرد مشخصی نداشت کسی آن را پیگیری نکرد. طرح موتور بخار هرو^۱ [۱] که در قرن اول میلادی در اسکندریه مصر ساخته شد، در شکل ۱ نشان داده شده است. در این موتور کره فلزی توخالی [۳] توسط نیروی بخار به حرکت در می آید.



شکل ۱: موتور بخار هرو که در قرن اول میلادی در اسکندریه مصر ساخته شده است.

۱- مشعل ۲- دیگک ۳- مخزن بخار ۴- لوله‌های انتقال بخار ۵- شیپورک‌ها
۶- محور چرخش توخالی

گرچه بسیاری از کتاب‌های ارزنده مهندسی در ایران قدیم در اثر گذشت زمان و غارت و بیدادگری فاتحان از بین رفته است، ولی اندک آثار باقیمانده نشان می‌دهند که

۱. Hero، این نام به صورت Heron نیز نوشته شده است و به نظر می‌رسد منظور "هارون" باشد.

مهندسی مکانیک در ایران قدیم کاملاً شکوفا بوده است و صنعتگران با آن آشنایی داشته‌اند. از کتاب‌هایی که از تخریب تاریخ در امان مانده‌اند می‌توان به کتاب‌های **ابتکارات خارق العاده مکانیکی**^۱ نوشته احمد بن موسی بن شاکر خراسانی، مهندس قرن سوم هجری (قرن نهم میلادی)، که توسط سرفراز غزنی [۲] به فارسی ترجمه شده و **مبانی نظری و عملی مهندسی مکانیک در تمدن اسلامی**^۲ نوشته ابی‌العزیز بن اسمعیل الجزری [۳]، مهندس نیمه دوم قرن ششم و اوایل قرن هفتم (مطابق با نیمه دوم قرن دوازدهم و اوایل قرن سیزدهم میلادی)، که به همت آقایان ناطق، نفیسی و رفعت جاه به فارسی ترجمه شده است، اشاره کرد. دونالد هیل^۳، خاور شناس و پژوهشگر نامی انگلیسی، که هر دو کتاب را از عربی به انگلیسی ترجمه کرده است، در لابه‌لای پیشگفتارها و توضیحات خود و به نقل از متقدمان می‌گوید: "در این دو کتاب طرح‌هایی از لیوان‌های جادویی، مکانیزم‌های کنترل اتوماتیک، چراغ‌های نفتی، فواره‌ها، بالابرها، ساعت‌هایی که دارای مجسمه‌های متحرک هستند یا موسیقی می‌نوازند، وسایل نقشه‌کشی و اندازه‌گیری و غیره ارائه شده است."

کتاب‌های **جواهر نامه نظامی** نوشته محمد بن ابی البرکات جوهری نیشابوری [۴]، مهندس قرن ششم هجری، و **تنسوخ نامه ایلخانی** نوشته خواجه نصیرالدین طوسی در قرن هفتم هجری [۵] و غیره نیز گرچه در زمینه مواد نوشته شده‌اند، ولی حاوی مطالب جالبی در ارتباط با سایر شاخه‌های مهندسی هستند.

طرح‌های ارائه شده در کتاب‌های الجزری و شاکر خراسانی فراوان، متنوع و زیبا هستند و بحث در باره آنها در یک مقاله تحلیلی کوتاه میسر نیست و توصیه می‌شود که علاقه‌مندان این کتاب‌ها را مطالعه کنند.

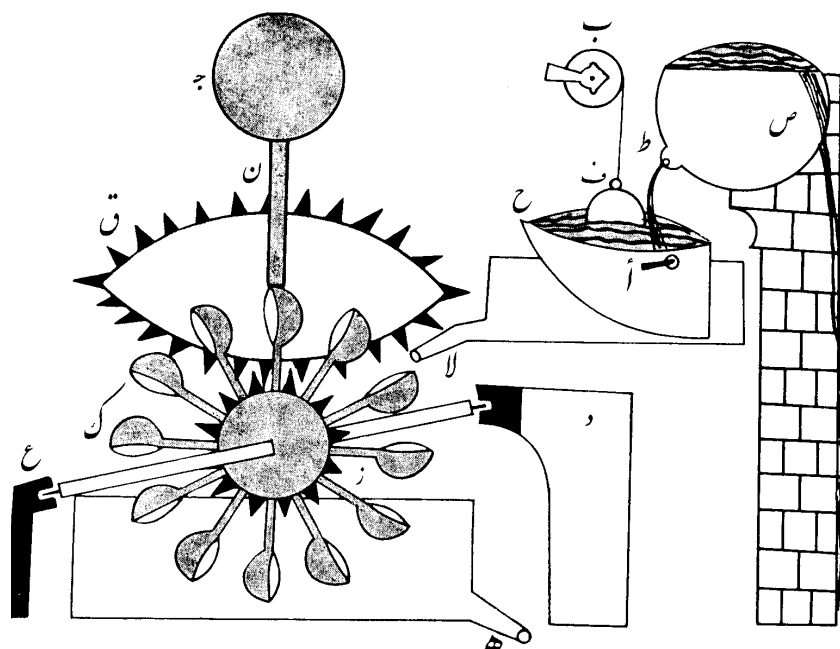
طرح‌ها و ابتکارات این مهندسان بسیار جالب و حتی با استانداردهای امروزی نیز قابل

۱. کتاب الحیل

۲. الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعه الحیل

تحسین است. در این مقاله به دو نمونه از طرح‌های الجزری و دو نمونه از طرح‌های شاکر خراسانی اشاره شده است.

طرح یک توربین مولد حرکت از کتاب الجزری در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، در این ماشین که نهصد سال قبل طراحی شده است، نیروی آب برای ایجاد حرکت، شیپورک برای هدایت آب، چرخ پلتون برای تبدیل مؤثر نیروی آب به گشت آور پیچشی، چرخ دنده برای تبدیل سرعت و تغییر جهت چرخش محور و شناور برای تنظیم سطح آب به کار گرفته شده است. این طرح امروز نیز با اندک تغییری با استفاده از مواد بهتر و قطعات دقیق‌تر به همان صورت اجرا می‌شود.



شکل ۲: حوضچه کفه همراه چرخ کفه دار و ابزار محرک

آب از طریق مخزن و شیپورک بر روی کاسه‌های چرخ آسیاب می‌ریزد و آن را به گردش در

می‌آورد. چرخ‌دنده‌ها نیز چرخش محور افقی را به محور عمودی منتقل می‌کنند. سطح آب در مخزن بالا توسط گوی شناور کنترل می‌شود.

چرخ

به نظر می‌رسد چرخ اولین اختراع مکانیکی بشر باشد که در آن تبدیل نیرو به حرکت به‌طور مؤثری انجام شده است. صاحب‌نظران استفاده از حرکت دورانی چرخ را مهم‌ترین اختراع بشر در طول تاریخ می‌دانند. سنگ‌های آسیاب، پره‌های توربین، دمنده‌ها و چرخ‌دنده‌ها همگی دارای حرکت دورانی هستند.

گرچه تاریخ و محل دقیق ساخت اولین چرخ مشخص نیست، ولی تصاویر باقیمانده در اهرام مصر و نقش‌های سنگی تخت جمشید نشان می‌دهند که اختراع چرخ احتمالاً در چهار تا پنج هزار سال قبل صورت گرفته است. باقیمانده یکی از قدیمی‌ترین چرخ‌های جهان که در چغازنبیل در خوزستان کشف و قسمت‌های چوبی آن بازسازی شده است، در شکل ۳ دیده می‌شود. طبق بررسی‌های انجام شده، این چرخ در حدود سال ۱۲۵۰ پیش از میلاد ساخته شده است. ساختار این چرخ کاملاً شبیه ساختار چرخ‌های کالسکه‌های امروزی است. بدنه اصلی آن چوبی و کفشک‌های طوقه برنزی هستند. کفشک‌ها توسط چکش کاری از دو طرف خم شده‌اند و سطوح جانبی چرخ را در بر می‌گیرند و مانع از فرسایش چوب در ضمن حرکت می‌شوند.

اختراع چرخ و به دنبال آن اختراع ارابه و گاری و کالسکه انقلابی عظیم در صنعت حمل و نقل پدید آورد و باعث شد تا از نیروهای حیوانی محدود در آن زمان به‌طور مؤثری بهره‌برداری شود.

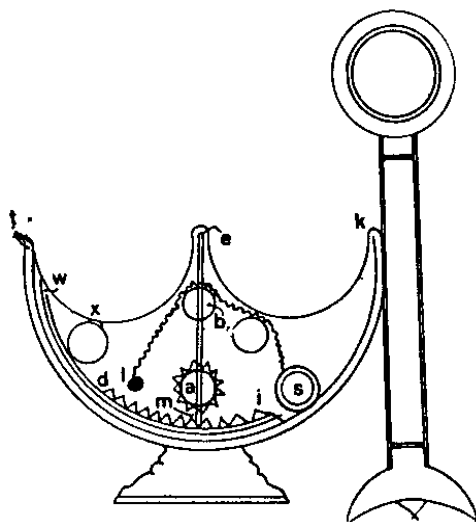


شکل ۳: چرخ بازسازی شده معبد چغازنبیل (۱۲۵۰ پیش از میلاد)، موزه ایران باستان

چرخ دنده

چرخ دنده‌ها اجزای اصلی مکانیزم‌های حرکت در دستگاه‌های مکانیکی هستند. نقش عمده آنها در جعبه‌دنده‌های قدیمی تبدیل محور چرخش از عمودی به افقی یا بالعکس بود. این جعبه‌دنده‌ها علاوه بر تغییر محور دوران، وظیفه انتقال قدرت و تغییر سرعت را نیز بر عهده داشتند و در آسیاب‌ها و آبکش‌ها و مکانیزم‌های اتوماسیون مصرف می‌شدند (شکل‌های ۴ و ۵).

چرخ دنده‌های چوبی قدیمی از طریق نصب تعدادی توپی استوانه‌ای بر روی محیط طوقه چرخ ساخته می‌شدند. چرخ دنده‌های مسی و مفرغی نیز ابتدا ریخته‌گری و سپس سوهان کاری می‌شدند.



شکل ۴: دستگاه اتوماتیک تغذیه فتیله چراغ [۲]

دستگاه اتوماتیک تغذیه فتیله چراغ نفتی

طرز کار این دستگاه که در کتاب شاکر خراسانی آورده شده، به شرح زیر است: مخزن سوخت در نیمکره تو خالی kt قرار دارد و گوی S در روی سطح آن شناور است. وزنه تعادل I که توسط زنجیر به گوی S متصل شده است، از روی چرخ تسمه b عبور می‌کند و باعث حرکت آن می‌شود. چرخ تسمه b و چرخ دنده a بر روی محور افقی me که عمود بر سطح کاغذ است، نصب شده‌اند. چرخش چرخ تسمه b محور افقی me و چرخ دنده a را به حرکت در می‌آورد. چرخ دنده a ااره دنده منحنی dI را بر روی سرسره نیمدایره kt حرکت می‌دهد. فتیله به انتهای w ااره دنده متصل است و از سوراخی که در آن موضع است، خارج می‌شود.

به نظر می‌رسد با توجه به حجم کوچک مخزن چراغ چرخ دنده‌ها باید از جنس مس یا مفرغ باشند.

آبکش‌ها

الجزری در کتاب **مهندسی مکانیک طراحی** پنج دستگاه اتوماتیک برای انتقال آب از رودخانه به زمین‌های مرتفع اطراف یا از عمق چاه به سطح زمین را شرح می‌دهد. در زیباترین طرح در این مجموعه از نیروی قسمتی از آب برای به گردش در آوردن آبکش و انتقال آب به سطح مرتفع‌تر استفاده شده است. در دستگاه‌های دیگر از نیروی چهارپایان برای انتقال آب استفاده شده است.

آب رودخانه به مخزن (س) وارد می‌شود (شکل ۵) و قسمتی از آن از راه سوراخ (ه) بر روی چرخ (ح) می‌ریزد و آن را به گردش در می‌آورد. چرخ دنده (ط) که بر روی محور چرخ آسیاب (ح) قرار دارد، چرخ دنده (ا)، محور (ی) و چرخ دنده (ب) را می‌چرخاند. چرخ دنده (ب) چرخ دنده (ق) و چرخ قفسه شکل (و) را به حرکت در می‌آورد. کوزه‌های نصب شده بر روی زنجیر (ف) آب مخزن را به ارتفاع (ص) منتقل می‌کنند. بدین ترتیب، با استفاده از انرژی دو سوم آب یک سوم باقیمانده آن به ارتفاع بالاتر برده می‌شود. مجسمه گاو (ل) و صفحه (ن) در این طرح نقشی ندارند و فقط از نظر زیبایی و تحیر بینندگان در طرح گنجانده شده‌اند.

مشخصات دستگاه: آبگیر از جنس سنگ رخام با کف مسی، محور پایین بین صفحه مسی (ن) و کف گودال از جنس آهن به طول ۱۲ و جب^۱ (تقریباً سه متر)، قطر صفحه مسی (ن) تقریباً نیم متر، قطر چرخ دنده (ا) تقریباً یک متر، طول محور افقی حامل چرخ آسیاب تقریباً ۷۵ سانتیمتر، قطر چرخ آسیاب (چرخ کفه دار) تقریباً ۱۷۵ سانتیمتر، قطر چرخ (ب) ۷۵ سانتیمتر و قطر قفسه (د) در حدود یک متر.

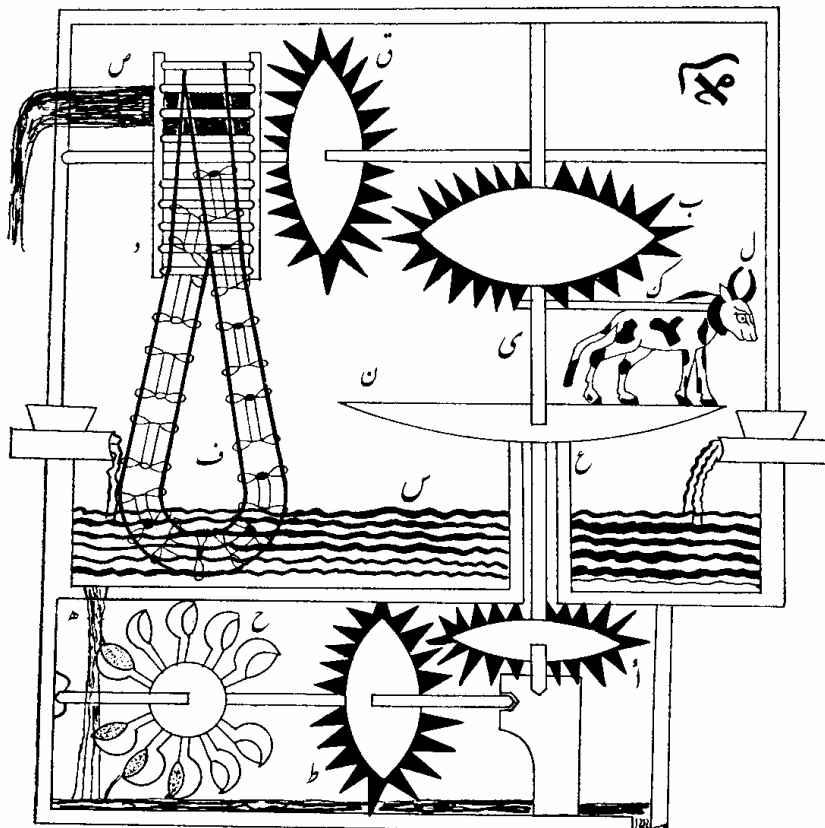
کوزه‌ها از جنس مس و ظرفیت هر یک سی درهم^۲ آب است. چرخ‌ها، محورها، کوزه‌ها و مجاری آب و همه آنچه از مس و غیر آن ساخته شده‌اند، با مواد رنگی پوشانده

۱. در لغت نامه دهخدا هر جب تقریباً چهار گره و هر پانزده و چهاردهم گره یا متر ذکر شده است. در نتیجه،

هر جب ۲۵٫۹۷۴ سانتیمتر می‌شود. در متن یاد شده هر جب ۲۵ سانتیمتر فرض شده است.

۲. مقدار درهم در طول تاریخ ثابت نبوده است. به نظر می‌رسد در این متن ۳۰ درهم معادل ۴۵۰ گرم باشد.

می‌شوند تا از تأثیر آب در امان باشند.



شکل ۵: دستگاه آبکش خودکار

آسیاب

آسیاب‌ها نیز مانند ارابه‌ها و سایل تبدیل نیرو به حرکت و تبدیل حرکت‌های خطی به حرکات دورانی هستند. استفاده بهینه از نیرو و بازدهی آن در آسیاب‌ها به طور مؤثری انجام می‌شود. آسیاب‌های قدیمی خانگی دستی و آسیاب‌های صنعتی آبی یا بادی و گاه آبی - بادی بودند.

تایلکوت [۶] می‌نویسد: "تمام آسیاب‌های آبی از نوع چرخ افقی با محور عمودی هستند. آب از طریق جویچه‌ای تقریباً عمودی به پایین هدایت شده و در نزدیکی تیغه‌ها تغییر جهت داده و به صورت جت افقی به پره‌ها برخورد می‌کند. در هرات که در قسمت اعظم سال باد فراوان است، محور عمودی به سمت بالا امتداد دارد و از محور آهنی ۳ سانتی متری به محوری چوبی به قطر ۴۰ سانتیمتر که به آن تعدادی پره شعاعی متصل است، منتهی می‌شود. باد به داخل شیار عمودی در مقابل این پره‌ها هدایت شده و چرخ را به گردش در می‌آورد و انرژی فراوانی تولید می‌شود. استفاده از چرخ افقی و محور عمودی طرح را ساده کرده و نیاز به چرخ دنده برای تغییر جهت حرکت را از بین برده است."

آسیاب‌های قدیمی ایرانی دارای دو نوع پره بودند: پره‌های کاسه‌ای (شکل ۲) که در آنها آب در جهت عمود بر محور آسیاب به کاسه پره‌ها برخورد می‌کند و پره‌های مورب که در آنها آب موازی با محور آسیاب به پره‌ها برخورد می‌کند. توربین‌های به اصطلاح پلتون و فرانسس امروزی نیز برگرفته از این دو طرح قدیمی هستند که با نام‌های جدید معرفی شده‌اند.

۳. مکانیک سیالات

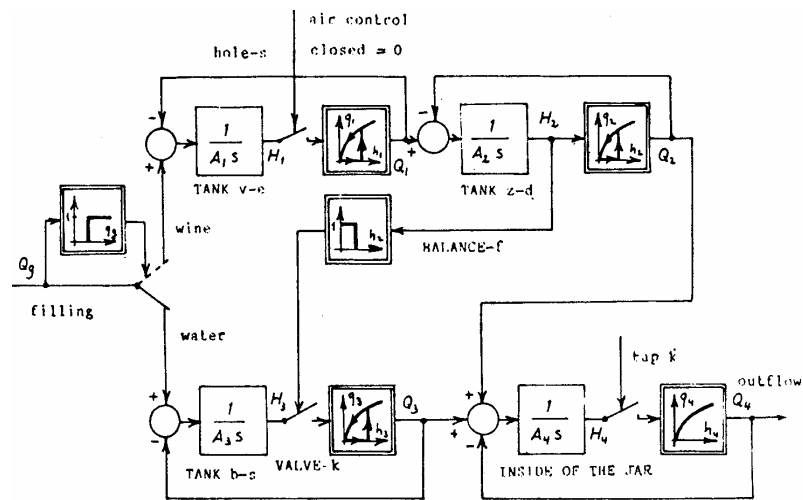
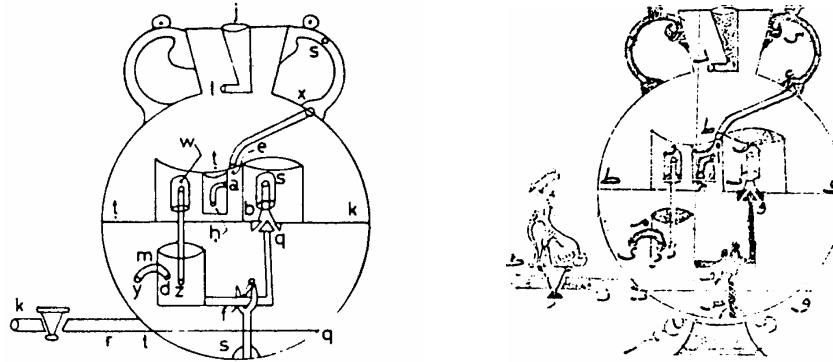
احمد بن موسی بن شاکر خراسانی در کتاب **الحیل** ۹۰ طرح اعجاب انگیزی از مدارهای هیدرولیک را ارائه می‌دهد. اصول طراحی و طرز کار این مدارها که هر یک شاهکاری در طراحی و مهندسی به شمار می‌روند، به طور کامل در کتاب **الحیل** توضیح

داده شده است. نمونه‌ای از این طرح در شکل ۶ نشان داده شده است. شاکر خراسانی می‌گوید:

طرح شماره ۷۳ - چگونگی ساختن تنگی را با یک مجرای خروجی بسته و یک سوراخ نامرئی که در دسته آن قرار دارد، بازگو می‌کنیم:

در این تنگ وقتی شربت و آب بریزیم و در مجرای خروجی هم باز باشد، از مجرای خروجی شربت خارج می‌شود و اگر شخص بدون اینکه حاضران متوجه بشوند سوراخ دسته را مسدود کند، به جای شربت آب از مجرا خارج می‌گردد و اگر سوراخ باز شود، دوباره شربت از تنگ خارج می‌شود و بدین ترتیب ادامه دارد یا اینکه صاحب تنگ می‌تواند با یک قطعه موم که روی انگشت دستش گذاشته آن را نزدیک سوراخ دسته قرار بدهد و مجرای خروجی را با دست دیگر مسدود کند و به حاضرین بگوید "اگر دستم را از جلو مجرای خروجی بر دارم چه مایعی بیرون خواهد آمد. شربت یا آب؟" و هر کدام را که از او بخواهند، می‌تواند از تنگ خارج سازد و به این علت است که اگر شربت از او خواسته شود، او سوراخ را مسدود نمی‌کند و اگر آب از او تقاضا بشود، او دستش را از جلو مجرای خروجی و از جلو سوراخ بعد از آن که با موم آن را پوشانده بر می‌دارد و در نتیجه آب از مجرای خروجی بیرون می‌ریزد."

توضیح این نکته لازم است که این مدار نمونه‌ای متوسط از طرح‌های کتاب *الحیل* است و طرح‌های بهتر و پیچیده‌تری نیز در این کتاب وجود دارد. طرز کار مدار این طرح و مدارهای دیگر در کتاب *الحیل* به طور کامل ذکر شده است.



شکل ۶: طرح کوزه‌ای که از آن به دلخواه آب یا شربت بیرون می‌آید. الف. نقشه در کتاب قدیمی، ب. نقشه بازسازی شده، ج. مدار هیدرولیک ظرف طبق نظریات امروزی

دمنده‌ها: محمد صالح تبریزی [۷] در گزارش خود به ناصرالدین شاه می‌گوید: "کوره‌های ذوب باید در کنار رودخانه باشند تا بتوان از دمنده‌های آبی استفاده کرد." نویسنده تاکنون مدارک و اسناد طرح دمنده‌های آبی را ندیده است، ولی به نظر می‌رسد نیروی لازم برای چرخش پره‌های دمنده توسط ضربه آب [مشابه طرح آسیاب] تأمین می‌شده است.

۴. وسایل دیگر

ساخت انواع ساعت‌ها، قفل‌های رمزدار^۱، دستگاه‌های تفریحی، وسایل نقشه‌کشی، زاویه‌یاب‌ها، مرکز یاب‌ها، وسایل اندازه‌گیری وزن و حجم دقیق در ایران قدیم کاملاً رایج بود، برای مثال، دقت ترازوها معادل وزن یک دانه برنج (۰,۰۲ گرم) بود و ساعت‌ها می‌توانستند ثلثه (یک شصتم ثانیه) را اندازه‌گیری کنند. برای افزایش دقت ساعت سوراخ عبور آب در ساعت‌های آبی از جنس یاقوت ساخته می‌شد تا در اثر عبور آب ساییده نشود.

فناوری سوراخکاری و تراش مواد و سنگ‌های بسیار سخت و قیمتی در ایران قدیم

و روش ساخت مته الماسه و دستورالعمل‌های سوراخکاری

هزاران سال است که بشر با سنگ‌های قیمتی آشنایی دارد و از آنها برای ساخت زینت‌آلات و وسایل تزئینی استفاده می‌کند. تراش سنگ‌های قیمتی سوراخکاری و جلای آنها نیز همزمان با عملیات مشابه بر روی فلزات آغاز شد. گرشمن [۸] در حفاری‌های سیلک کاشان گردنبندها و انگشتری‌هایی از جنس نقره و برنز و سنگ لاجورد مربوط به هزاره سوم پیش از میلاد کشف کرد که نشان می‌دهند عملیات سوراخکاری و پرداخت فلزات در هزاره سوم پیش از میلاد نیز در ایران رایج بوده است.

عملیات براده برداری، سوراخکاری و پرداخت فلزات به علت نرمی نسبی آنها تقریباً

۱. قفل‌های در اصطلاح دیجیتال امروزی

ساده و با مته‌های فولادی امکانپذیر است. ولی سنگ‌های قیمتی نظیر یاقوت، لعل و عقیق با سختی ۹-۷ در مقیاس موه^۱ را نمی‌توان با مته‌های فلزی سوراخکاری کرد.^۲ محمد بن ابی البرکات جوهری نیشابوری در کتاب **جواهر نامه نظامی** که در سال ۵۹۲ هجری (با ۱۱۹۶ میلادی) تألیف شده است، فناوری سوراخ کردن و جلای سنگ‌های سخت و قیمتی را چنین شرح می‌دهد:

"خاصیت بزرگ‌ترین الماس آن است که جمله جواهر حجری صلب را که البته سوهان قبول نکند بدو سوراخ کنند و اگر الماس نبودی هیچ جوهر صلب را چون یاقوت^۳ و زمرد و لعل و جزع و عقیق و غیر آن به هیچ حیل سوراخ نتوانستی کردن."

جوهری نیشابوری سپس به شرح روش ساخت مته الماسه پرداخته و نوشته است:
"و رسم حکاکان حاذق آن است که چون خواهند که جوهری را سوراخ کنند از جمله حجریات که قبول نکند سوهان را، بگیرند پاره‌ای الماس.

و آلتی است حکاکان را مثل "کلبله"^۴، دو سر آن را از آهن پولاد آب داده و سر آن از دو طرف تیز کرده چنان که شکل "خرپشته" بود راست و آن آلت را حکاکان در اصطلاح "فریاس" گویند و ازین دو آلت بیارند و دیگر فریاس بر وی می‌زنند. چنان که خواهند می‌شکنند خردتر و بزرگ‌تر و چون شکسته شد بگیرند پاره [ای] از آن پاره‌ها [ی] شکسته به قدر سوراخ که خواهند کرد دو پاره آهن نرم پاک بگیرند. و اگر سوراخ باریک خواهند کرد آن آهن را به مقدار آن سوراخ باریک کنند و سر آن را پهن کنند. بعد از آن در آرنج تا چون نایزه‌ای شود به مقدار آن پاره الماس و آن را بر چوب مثقب^۵ ترکیب کنند.

۱. این مقیاس قبلاً توسط ابوریحان بیرونی (متوفی به سال ۴۴۰ هجری برابر با ۱۰۴۸ میلادی) ابداع و تعریف شده است.

۲. سختی مارتین سیت در مقیاس موه ۷ و سختی مس تابیده شده ۳ است. سختی اغلب فلزات سخت بین ۸-۴ است.

۳. یاقوت (سختی ۹)، زمرد (سختی ۷،۵)، لعل (سختی ۸)، جزع (سختی ۷) و عقیق (سختی ۷-۶،۵)

۴. تعریف لغات کلبله و فریاس و کاربرد این ابزار شناخته نشد.

۵. مثقب: مته

پس آن پاره‌الماس را در آن نایژه^۱ نهند و پوست جوز هند که آن را بر سر مثقب نهند در وقت سفتن چیزها آن را بر آن الماس زنند محکم شود. بعد از آن، آن را بر سنگ آب نهند و دستی چند بکشند به آب تا آهن در گرداگرد الماس محکم شود. آهن زیادتی را به سوهان بسایند تا به مقدار حجم الماس آید و آن مثقبی باشد که جوهر را خواهند بدان سوراخ کنند و آن مثقب را "یک پایکی" خوانند و هر چه سوراخ‌ها تنگ [و] باریک باشد، بدین مثقب سوراخ کنند.

و اگر سوراخ فراختر آید، بگیرند پاره‌آهن - هم از آن که یاد کرده شد - و سر آن را راست کنند. پس هر دو سوراخ باریک به مثقب فولاد آب داده بر دو طرف سر آن آهن بکنند و دو پاره الماس را از آنچه شکسته باشند هم بر آن طریق که یاد کرده شدست در آن دو سوراخ محکم کنند و این مثقب را "دو پایکی" خوانند و آنچه خواهند از جمله جوهر بدن سوراخ می‌کنند.

و همچنین اگر خواهند که سوراخ فراختر آید، آنچه دو پاره الماس ترکیب کرده بودند پنج پاره ترکیب [کنند]، یکی بر میان و چهار بر اطراف و این مثقب را "پنج پایک" خوانند. و اگر زیادت خواهند هم بدن طریق ده پاره و بیشتر ترکیب می‌کنند، چنان که در "پنج پایکی" گفته شد و هیچ جوهر را آن خاصیت نیست که این جنس فعل ازو حاصل تواند آمد."

سوراخکاری مروارید

مروارید با سختی ۴ را می‌توان توسط فولاد نیز سوراخکاری کرد. جوهری نیشابوری در این زمینه می‌گوید:

"و مروارید را به آهن فولاد آبداده ثقب^۲ کنند و کمایش [عادت] مردمان علی‌الخصوص اطبا آن باشد که مروارید را به الماس ثقب کنند و در ثقب کردن مروارید خطرهای بسیار باشد. یکی آنکه سوراخ کژ آید و هر مروارید که سوراخ آن

۱. نایژه: لوله باریک شبیه به نی

۲. ثقب: سوراخ

کژ بود، آن را "لنگ" خوانند و قیمت آن را نقصان فاحش باشد."

جوهری نیشابوری در قسمتی دیگر از کتاب خود فناوری سوراخکاری مروارید و رفع عیب از سوراخ‌های گشاد شده را چنین شرح می‌دهد:

"و اگر سوراخ مروارید فراخ شده باشد به سبب آنکه آن را در زر کشیده باشند و آن عیبی بزرگ است مروارید را و اصلاح آن، آن باشد که دو دانه مروارید خرد را بگیرند، چنان که هم آب آن دانه باشد و آن را [با] سوراخ آن سازند و آن گاه به مصطکی^۱ مدبر که شرح آن کرده شده است، الصاق کنند و یا دو پاره صدف را در پهنی بسایند و با سوراخ آن سازند و به مصطکی مدبر الصاق کنند و بعد از آن چنان که خواهند سوراخ کنند."

"چون خواهند که مروارید را سوراخ کنند، بگیرند پاره آهن سفته پولاد باریک سپید چنان که پوست ناک نبود و سر آن باریک کنند به مقداری که ثقب خواهند کرد و هر چه باریک تر بود بهتر باشد تا سوراخ بهتر [آید] که از فضایل مروارید یکی تنگی سوراخ است. پس طرف سر آهن باریک را اندک مایه نسبت با او پهن تر کنند و حکاکان آن قدر پهنی را "پیازه" مثقب گویند و غرض از آن، آن باشد تا آهن مثقب به آسانی بگردد و به کار فرو شود و نگیرد. پس آن را به چراغ بتابند و به روغن یا شمع [فرو] برند تا آب گیرد و اگر به آب آب دهند، خطر شکستن باشد."

در متن زیر چگونگی علامتگذاری محل سوراخ و هدایت آب به اطراف سوراخ و استفاده از آن برای خنک کردن مته و تخلیه سفاله‌های سوراخکاری بیان شده است. این فناوری ها هنوز هم مورد استفاده است.

"پس هر مروارید که خواهند سوراخ کنند در "گیرا" گیرند و کوزه یا غضاره^۲ سوراخی به یک طرف او فرو برده باشند و نایژه گندم که آن را "ساواری" خوانند در آن سوراخ محکم کرده، چنان که آب به وی بیرون آید و نخست مثقب را چنان که خشک باشد بر موضع مثقب نهند تا نشانی گیرد اندک. پس ثقاب بنگرد تا نشان ثقب موافق دانه مروارید افتاده است یا نی. اگر راست باشد نایژه آب را بر روی دانه مروارید در پهلوی [ی] مثقب نهد تا چندان که دست می‌کشد آب از نایژه بیرون

۱. مصطکی: کندر رومی، صمغی سفید و چسبناک است.

۲. غضاره: کاسه سفالی بزرگ

می‌آید و براده را از ثقب بیرون می‌آرد.“

جوهری نیشابوری می‌گوید که سنگ‌هایی را که نتوان با مبرد خنک کرد باید با مته الماسه سوراخ کرد. فناوری و روش سوراخکاری پیشنهادی چنان است که امروز نیز معمول است.

“ و جمله حجرات را هم بدین طریق ثقب کنند. آنچه مبرد قبول نکند به مثقب الماس، چنان که پیش ازین شرح کرده شدست.

و چون مثقب اندک مایه فرو رفت هر لحظه مروارید را از “گیرا” بیرون می‌گیرند، چنان که در سر مثقب باشد و آن را به دست می‌گردانند و می‌نگرد تا سوراخ راست می‌شود یا نی. اگر انحرافی یافته باشد، آن را به منحرف داشتن دست و مثقب تدارک می‌کند.

و جمله مروارید خرد و بزرگ را از یک طرف سوراخ کنند تا به جانب دیگر رسد. و در آن وقت که مثقب بدان جانب بیرون خواهد آمد به غایت احتیاط باید کرد تا پاره‌ای از اسفل مروارید نجهد. بل که همچنان باید که هر دو طرف سوراخ متساوی باشد و تمییز کرد که ابتدا از کدام طرف کرده اند به وقت ثقب کردن.“

“ و دانه‌ها [ی] نجم و عیون^۱ را آسان باشد ثقب کردن، به جهت آنکه دانه نجم و عیون کروی^۲ حقیقی باشد. پس هر جزو را که ازو نشان کرده شود بر مرکز بگذرد و سوراخ راست آید.“

“ و دانه غلامی و مخروط و لوزی و شمعی و نردی و قاعد و شاخمی [را] ابتدای ثقب از تیزی و بالا کنند تا به قاعده دانه بیرون آید.“

“ و ثغری و دهلی و خنبی و دفی و بیضی را ابتدا از هر طرف که خواهند که در آن اشکال تفاوتی نکند و عنبی را از جانب بید^۳ ابتدا کنند.

و دانه فقاعی را ثقب کردن دشوار بود از جهت آنکه ثقب می‌باید که از سوی بالا در آید و به تیزی زیر بیرون شود و یا از تیزی ابتدا کنند و برابر بیرون آید و این به غایت متعذرست.

۱. نام‌های انواع مروارید.

۲. شاید کروی

۳. شاید بند

و دانه مضرس و جو دانه نیز هم ثقب کردن مشکل است، به سبب آنکه آن را شکل معینی نیست و بیشتر اشکال آن باشد که چون ثقب کنند "لنگ" آید و آن عیبی باشد بزرگ و تا ثقابی به غایت کامل نباشد، این اشکال را ثقب نتوان کرد. و مروارید خرد چون چهلی و سیی و بیست و پنجی^۱ و گزی، آن را در "گیرا" نتوان گرفت. ثقاب یک درم سنگ یا کمتر یا بیشتر بر روی تخته سفته گری می کند و حفری نیک خرد کرده باشد بر روی تخته به سر مثقب. یک یک دانه را در آن حفر می نهد و چنان که اتفاق افتد از گزاف سوراخ می کند. به جهت آن را که در مروارید خرد بدان احتیاط حاجت نباشد که لنگ آید یا نی. اگر چه لنگ در مروارید خرد و بزرگ عیب است، اما در مروارید خرد لنگی پیدا نیاید چنان که در بزرگ. و قیمت یک دانه چهلی و سیی اندک باشد و چون لنگ باشد تفاوت قیمت آن محسوس نگردد.

و اگر دانه دو دانگی یا کمابیش آن لنگ باشد تفاوت قیمت آن بسیار بودی."

دستور العمل سوراخکاری و پرداخت و جلا کاری سایر سنگ های

معدنی

ایرانیان قدیم از مته های پولادی و الماسه برای سوراخکاری و از چرخ جلا برای پرداخت و جلا دادن سنگ ها استفاده می کردند. جنس چرخ بر حسب نوع سنگ یا فلز تغییر می کرد. چرخ های جلا از جنس مس، سرب، سفال، چوب و سنباده و غیره ساخته می شدند. جوهری نیشابوری در کتاب خود جنس مته و چرخ جلائی مناسب را برای کلیه سنگ های معدنی مشخص و دستور العمل اجرای کار را نیز ارائه کرده است.

"جزع (سختی ۷): جزع سنگی است. گذشت یاقوت و الماس هیچ سنگ به صلابت او نیست. و جزع به حک در غایت صلابت باشد و جز به الماس آن را ثقب نتوان کرد.

۱. شماره غربال های مورد استفاده برای جدا سازی و توزین

بیجاده (سختی ۸-۶): و آن را ثقب به الماس کنند و جلا به چرخ سوخته^۱ دهند [و] به چرخ مس و به سنگ محک^۲ نیز جلا گیرد، اما دیرتر.

عقیق (سختی ۷-۵-۶): و عقیق مبرد قبول نکند و جز به الماس آن را ثقب نتوان کرد و جرم او به غایت صلب است.

و جلا به سنگ مها[ی] موصول^۳ کرده دهند بر چرخ چوب چنار. و نرم کردن به چرخ سرب و سنباده موصول باشد.^۴

متن زیر نشان‌دهنده دقت آزمایشگران قدیم در انجام دادن آزمایش‌هایشان است.

"پنگان‌ها^۵ که اوقات را بدان ضبط کنند [به] پاره^۶ جزع سوراخ کرده محکم کنند تا به سبب صلابت جرم آن، چون آب دایماً بر آن ثقبه می‌گذرد فراخ تر نشود و اختلافی در آن آلت پیدا نیاید و آن تقدیری که آن را در اول بر آن وضع نهاده باشند بنگردد.

بلور (سختی ۷): و آن را صلابتی تمام است و مبرد قبول نکند و آن را ثقب به الماس توان کرد.

لاجورد (سختی ۷۵-۵-۵): و ثقب آن به الماس کنند و جلا به چرخ بید و سفال نو موصول دهند.

یشب (سختی ۶): به غایت صلب است. مبرد قبول نکند و به الماس آن را ثقب کنند و جلا [ی] [آن جلا]ی [عقیق است بر چرخ چنار.

و از یشب کوفته گران آلتها سازند که آن را "نانی" خوانند و آن پاره^۶ یشب باشد طولانی املس^۵ کرده و دسته از آهن یا چوب محکم کرده و بدان زر و نقره را که بر

۱. معنی مشخص نیست. ولی از متون استنباط می‌شود که همان سنگ سنباده امروزی باشد که از تفجوشی ذرات شن تولید می‌شود.

۲. سنگ محک: از این سنگ در گذشته برای تعیین عیار طلا استفاده می‌شد. اطلاعات بیشتر در کتاب کانی شناسی در ایران قدیم نوشته محمد زاوش درج شده است.

۳. موصول: جدا گردیده، آنچه در سوختن به حد خاکستر نرسد، مانند آجر یا سفال پخته. شاید همان چرخ سوخته باشد.

۴. فنجان معرب پنگان است.

۵. املس: پرداخت شده، جلا داده، تابان

روی آهن کوفته کنند هموار کنند، و زر طلا را که به روی نقره خواهند که الصاق کنند بی الحام نقره را از وسخ پاک کنند و بر روی آتش فحم^۱ نهند تا گرم شود. پس زر طلا را بر روی آن نهند و بائی^۲ در روی آن ررمها کنند تا در وی نقره محکم شود و هموار گردد.

هر چند از عقیق و جزع و غیر آن "نانی" توان کرد، اما هیچ سنگ در خاصیت چون حجر یشب نیست.

مرجان: جلای آن به چرخ بید و سفال نو سوده^۳ موصول^۳ کرده دهند و به روغن آن را روشن گردانند و به آهن پولاد آبداده ثقب کنند و مرجان مبرد قبول کند و صلب نباشد.

سیج (سختی ۴): و آن را به آلت خراطان بتوان تراشید و مبرد نیز قبول کند و به پولاد آب داده ثقب کنند.

و به آتش مشتعل شود چون شمع و به غایت بسوزد، چون نطف و غیر آن و طبیعت صمغ دارد. و چون آن را می تراشند بوی نطف می آید.

و سیج را حکاکان به چرخ خشک بسایند خلاف جمله سنگها، که جمله سنگها را به آب ساینند و آن را خشک و به پولاد ثقب کنند.

دهنج (سختی ۴-۳،۵): به پولاد آبداده ثقب توان کرد و جلای آن به چرخ بید یا به چوب آن و جلا [ی] مینا دهند، والله اعلم.

کهربا (سختی ۲،۵-۲): و ثقب کردن به آهن پولاد و مثقب آن بیار^۴ نیک باید کرد و دست آهسته باید کشید. اگر دست زود کشند به حکم حرارت مثقب گرفتی گیرد و دشوار ثقب توان [کرد].

و باشد که حکاک استاد نباشد. مثقب چنان در وی گیرد، یا مثقب خود بشکند، و اگر دست زود زود کشد باشد که مشتعل شود به حکم دهنیتی که در وی هست و در حجر سیج همین حکم است و مثقب هر دو یک جنس باشد.

۱. فحم: زغال، انگشت

۲. جمله باید چنین تغییر یابد "و با نانی در روی آن ررمها کنند". رم به معنی اصلاح و صاف و نیکوکردن خلل نیز می باشد.

۳. نوعی از سنگ سمباده که از خاک سفال نرم تهیه می شده است.

۴. این لغت احتمالاً بسیار بوده است.

حجر التیس (حجر حیوانی^۱): مبرد قبول کند و به پولاد آبدار ثقب توان کرد.
خر مهره: به پولاد آبداده سوراخ کنند.
سپید مهره: و این جمله مبرد قبول کند و به آهن پولاد آبدار ثقب توان کرد و
جلای آن چون جلا[ی] مرجان باشد.
حجر خمار: و آن سنگی است صلب و آن را ثقب به الماس توان کرد.
حجر الظفر: و آن را به چرخ مس [و] جلائی عقیق جلا توان داد، و لکن به سنگ
محک جلائی آن با طراوت تر باشد و دشوار باشد و حکم هر چهار نوع همین است.
حجر کرکی: صلب نباشد و به آهن پولاد آبداده ثقب توان کرد."

حجر سنباده و خواص آن

سنباده که امروزه به طور گسترده در صنایع مکانیک و فلزگری مصرف دارد، در گذشته نیز شناخته شده بود. مهندسان قدیمی یا سنباده را با روغن مخلوط می‌کردند و از آن برای پرداخت و جلائی فلزات و سنگ‌های قیمتی استفاده می‌کردند یا آن را به کمک چسب به شکل قرص چرخ در می‌آوردند و پس از تفجوشی به صورت چرخ سنباده به کار می‌بردند. جوهری نیشابوری می‌گوید:

"حجر سنبادج (سختی ۹-۷) سنگی است که گذشت الماس هیچ جوهر و سنگ
ازو صلب تر نباشد.

حجر سنبادج را به زبان [رومی] "سمیرس" خوانند و جمله احجار و جواهر را
بدان توان سود و حک و شق توان کرد و هیچ جوهر به جای او نیست در خاصیت.
و درو ذراتی باشد روشن و براق که گویی الماس است و ممکن که حدت آن
بدان اجزاست و درشت طبع باشد و هیچ جوهر صلب در آن تأثیر نکند و او در جمله
جواهر تأثیر کند، مگر الماس که البته درو اثر نتواند کرد.
و چون سنگ سنبادج [را] خرد بسایند و به حریر ببینند به مشارکت چرخ مس

۱. سنگ‌های حیوانی اغلب نرم و سختی آنها بین ۴-۲ است.

تنک که آن را حکاکان " تیزبر " گویند. و جمله جواهر صلب چون یاقوت و جزع و غیر آن بشکافند و بسایند.
و آهن پولاد آب داده بدان نتوان سود و شمشیرهای پولاد یا بلارک و کناره‌ها در هندوستان بدان نرم کنند.
و زخم سوهان بدان از وی ببرند تا بعد از آن داروی جوهر برو کنند تا جوهر بلارک پیدا شود.

پرداخت کردن و جلا دادن

خواجه نصیرالدین طوسی در کتاب تنسوخ‌نامه ایلخانی دستورالعمل پرداخت کردن و جلای سنگ‌های قیمتی را چنین شرح می‌دهد:

" و الماس را بر سر مثقب نهند و بسایند و بدان سنگ‌های سخت را سوراخ کنند. یاقوت همه سنگ‌ها را بساید و جز الماس او را نساید و جز به الماس او را سوراخ نتوان کرد.

طریق جلا دادن یاقوت آن است که یاقوت را نخست به لک بر سر چوبی بندند و به چرخ حکاکی بسایند تا املس شود. بعد از آن سنباده را خرد بسایند و بر روی چرخ اسرب می‌سایند تا خشونت و درشتی به سبب زخم چرخ که در وی آن باشد برود. و به غایت نرم شود و چون نرم شد جزع یمانی را بسوزند تا چون آهک شود و در آب بسایند و آن نگینه را بروی بر صفحه مس می‌مالند و می‌سایند تا جلا یابد و نرم شود. زمرد را به جلاء یاقوت جلا دهند، بر چرخ مس، بعد از آنکه بر چرخ اسرب نرم کرده باشند. و زمردی که سوخته طبع باشد آن را بعد از آنکه به غایت نرم کرده باشند به سنگ محک جلا دهند، خوب تر آید و حکاکان امتحان مینا و زمرد به جلا کنند که مینا به سفال نو موصول کرده آید بر چرخ بید جلا گیرد، به غایت خوب و زمرد نگیرد. " دهنج (دهنه) را بیولاد آب داده ثقب کنند.

وی در باره سنگ سنباده و طرز استفاده از آن می‌گوید:

" سنگ سنباده : سنگی به غایت سخت باشد. حکاکان بی آن هیچ کاری نتوانند

کردن و به آن سنگ‌های سخت را بسایند و سوراخ کنند و معدن آن در بیشتر مواضع باشد و اگر سنباده نبودی هیچ حجر صلب را از جمله جواهر نتوانستی سودن و نقش نگین کردن و آهن و فولاد آب داده بدان بتوان سودن و شمشیرهای بلارک و کتاره‌های هندی بدان نرم کنند."

نظیر این دستور العمل را ابوالقاسم عبدالله کاشانی [۹] در کتاب *عرایس الجواهر و نفایس الاطایب* نیز آورده است. متن یادداشت‌های عبدالله کاشانی به قرار زیر است:

در جلا دادن یاقوت: جزع یمانی را بسوزند تا چون آهکی نرم شود و در آب بر صلایه بسایند و آبگینه را برو بر صفحه مس می مالند و می ساینند تا جلا یابد و به طراوت و نرم شود.

در جلا دادن انواع یواقیت: جمله انواع یاقوت را به یک طریق جلا توان داد و طریق جلا دادن او آن است کی یاقوت عجمی را نخست به لک بر سر چوبی بندند و به چرخ لک و سنباده ساخته اند کمایه بسایند تا املس شود. بعد از آن به سنباده بر روی چرخ اسرب می ساینند تا خشونت زخم چرخ از وی برود و نرم شود و باز به جزع سوخته سوده بر روی چرخ مس می ساینند تا صیقل شود و جلا گیرد و از سر چوب باز کنند و در آب گرم و قدری شخار بجوشانند تا اثر سیاهی از وی برود و پاکیزه شود. باز به آب و صابون بجوشند و به آب پاک صافی بشویند.

در نظم کردن و سوراخ کردن مروارید: و لؤلؤ را به آهن پولاد آب داده ثقب کنند و کمابیش مردمان علی الخصوص اطبا لؤلؤ را به الماس ثقب کنند و مروارید بزرگ را ثقب کردن بسیار آسان‌تر از آن بود که خرد و عوام به عکس آن گمان برند و در ثقب کردن لؤلؤ خطرهای بسیار باشد: اول آنک لنگ آید و قیمت آن را نقصانی فاحش باشد. و اگر مثقب در سوراخ لؤلؤ شکسته شود آن را به دشواری برون توان آورد. و دهنه را به پولاد آب داده ثقب توان کرد.

در معرفت سنگ سنباده: سنباده سنگی است به غایت سخت کی بعد از الماس هیچ جوهر و سنگ ازو صلب‌تر نیست و جمله احجار را به وی توانند سود و حک و شق کرد. و هیچ جوهر صلب در آن تأثیر نکند، جز الماس و او در جمله جواهرات تأثیر کند. آهن پولاد آب داده بتوان سود و شمشیرهای بلارک و کتاره‌های هند بدان نرم کنند. سنباده آهن را ریش کند و بخرشد و آهن درو اثر نتواند کرد.

محمد بن منصور [۱۰] نیز در کتاب **گوهر نامه** در باره خواص الماس، یاقوت و سنباده و طرز استفاده از آنها می‌گوید:

"سنباده سنگی صلب، مشهورست که در آهن و فولاد آب داده اثر کند و ازیشان متأثر نشود و اگر میانه سنباده و اشباه آن اشتباه واقع شود، تمیز به این صفت توان کرد و سنباده به الماس قریب است به غایتی که جماعتی بر آنند که نوعی ضعیف از الماس است.

و سنباده دو نوع است: نوعی به سرخی زند و نوع دیگر به کبودی و غیر الماس از جواهر در او اثر نمی‌توانند کرد، بلکه از او متأثر شوند و در سنباده سمیتی هست که به واسطه آن سمیت تفریق اجزاء اشیاء صلب می‌کند و مستولی بر سنباده آفتاب است. فیروزه را به الماس ثقب کنند، مگر بعضی که به غایت رخو باشد به پولاد سوراخ کنند."

وی در باره خواص الماس و یاقوت می‌گوید:

"الماس جوهری است در غایت صلابت و او در جمله جواهر تأثیر کند و هیچ

جوهر در وی اندک و بسیار تأثیر نکند.
یا قوت جوهری است که سوهان برو کار نکنند و هیچ جوهر او را نتراشد، مگر
الماس و او جمله جواهر صلب را بتراشد."

مراجع

1. Woodcroft, "The Pneumatics of Hero of Alexandria", London , 1851.
۲. احمد بن موسی شاگرد خراسانی ، ابتکارات خارق‌العاده مکانیکی یا الحیل، مترجم سرفراز غزنی، شرکت به نشر، تهران، ۱۳۷۲.
۳. ابی‌العزیز بن اسمعیل الجزری، "مبانی نظری و عملی مهندسی مکانیک در تمدن اسلامی (الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعة الحیل)"، ترجمه و تحشیه محمد جواد ناطق، حمیدرضا نفیسی و سعید رفعت‌جاه، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۸۰.
۴. محمد بن ابی‌البرکات جوهری نیشابوری، جواهر نامه نظامی، به کوشش ایرج افشار با همکاری محمد رسول دریاگشت، میراث مکتوب، ۱۳۸۳.
۵. محمد بن محمد بن حسن طوسی، مشهور به خواجه نصیرالدین، تنسیخ نامه ایلخانی، با مقدمه و تعلیقات مدرس رضوی، انتشارات اطلاعات، ۱۳۶۳.
6. Tylecote, R.F., Early Metallurgy in the Near East, J.Metals & Materials, Jul 1970.
۷. محمد صالح تبریزی، معدن نامه، فهرستی از معادن ایران در سال‌های ۱۲۴۰ تا ۱۲۷۰ هجری شمسی، آرشیو فنی مرکز آمار و اطلاعات فنی، شماره ثبت ۷۱۶ مورخ ۶۴/۹/۱۳.
8. R. Ghirshman, "IRAN", Penguin Books Ltd, Hammonds worth, Middlesex, England,
۹. ابوالقاسم عبدالله کاشانی، عرایس الجواهر و نفایس الاطایب، به کوشش عبدالله افشار، انجمن آثار ملی تهران، تهران، ۱۳۴۵.
۱۰. محمد بن منصور، گوهر نامه، به کوشش منوچهر ستوده، مجله فرهنگ ایران زمین،

۲۸ پیشرفت‌های مهندسی مکانیک در ایران قدیم

جلد چهارم، ۱۳۳۵، صفحات ۳۰۲-۱۸۵.

۱۱. غلامحسین دانشی، "علوم مهندسی مکانیک در ادبیات فارسی"، فصلنامه آموزش

مهندسی ایران، شماره ۲۵، بهار ۱۳۸۴، صص. ۷۲-۵۷.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۵/۸/۶)