

استخراج معدن در دوره اسلامی*

دو نالد آر. هیل

ترجمه شرام زراع

معادن دوره اسلامی

اطلاعات درباره معادن دوره اسلامی در آثار جغرافیایی، کتب کانی‌شناسی، رساله‌های مربوط به کیمیا و منابع گوناگون دیگر یافت می‌شود. آشکار است که استخراج معدن فعالیت مهمی در (تمدن) اسلام به شمار می‌رفت؛ چنانکه در هر تمدن دیگری اینچنین بوده است. در این مقاله تنها به برخی از مهمترین مواد معدنی و مراکز استخراج آنها اشاره می‌شود.

معادن طلا در عربستان غربی، مصر، آفریقا و برخی سرزمین‌های اسلامی شرقی یافت می‌شد. یکی از مهمترین مناطق استخراج معدن طلا در وادی ال‌الاکی بود که در ساحل راست شاخه نیل علیا قرار دارد. این منطقه در بوجه (Buja) میان اتیوپی و نوبیا واقع است. معادن مذکور در منطقه‌ای صحرایی میان رود نیل و دریای سرخ قرار گرفته‌اند. نزدیک‌ترین شهرها (به آن) آسوان در (کنار) نیل و عیذاب (در کنار) دریای سرخ است. بیرونی دومین ناحیه اصلی استخراج معدن طلا را مغرب سودان (Maghrib Sudan) ذکر کرده است. و منطقه شمال صحرا در سنگال و نیجر علیا در مالی رادبرمی‌گیرد. بنابر قولی ادریسی، ونگارا (Wangara) که مهمترین مرکز استخراج معدن طلا بود، در نیجر علیا قرار داشت. سنگ، پارچه و کالاهای دیگر با طلا معاوضه می‌شدند. نقره یا به طور مجزا استخراج می‌شد یا در ارتباط با کانه‌های سرب بود؛ معادن اصلی نقره در استانهای اسلامی شرقی قرار داشتند و برجسته‌ترین آنها معادن هندوکش در شهرهای پنجشیر و جاریانه (Jarynana) واقع بود که هر دو در همسایگی بلخ بودند. بنابر گزارشی حدود ۱۰۰۰۰ معدنچی در پنجشیر کار می‌کردند. سایر معادن مهم نقره در اسپانیا، آفریقای شمالی، ایران و آسیای مرکزی قرار داشتند.

سرب عمدتاً از گالن (سولفور سرب) بدست می‌آمد و بسیار رایج بود. این کانه‌ی سرب اغلب با مقدار کمی نقره آمیخته بود. تنها دو کانه دیگر سرب ارزش تجاری داشتند. دو کانه‌ی مزبور عبارتند از کروسیت (کربنات سدیم) و آنگلسیت (سولفات سرب) که اهمیت کمتری دارد. کانه‌های سرب، بویژه گالن، در اسپانیا، سیسیل، آفریقای شمالی، مصر، ایران، بین‌النهرین شمالی و آسیای صغیر بهره‌برداری می‌شدند.

ذخایر کانه‌ی مس در مناطق مختلفی استخراج می‌شد. معادن مهم اسپانیا در غرب و چندین معدن نظیر معادن سیستان، کرمان، مرو، فرغانه،

بخارا، توس و هرات در شرق از جمله این ذخایر محسوب می‌شدند. معادن مس قبرس همواره ذخایر مهمی به شمار می‌رفتند. واژه توتیا جهت دلالت بر کانه‌های روی طبیعی (بویژه کربنات روی) یا اکسیدروی سفید که در خلال حرارت دادن به سنگ کانی‌ها بدست می‌آمد، استعمال می‌شد.

معادن اصلی توتیا در استان کرمان در ایران واقع بود. توتیا در مناطق معدنی مختلفی در اسپانیا نیز وجود داشت. قلعه از شبه جزیره مالزی آورده می‌شد که در آنجا به "کالا" (kala) معروف است. واژه عربی "قلع" برای این فلز برگرفته از همین واژه مالایی است. کانه‌های آهن در سرتاسر جهان اسلامی پراکنده بود. پنج منطقه معدنی مهم آهن در اسپانیا وجود داشت. این مناطق شامل معدنی در نزدیکی تولدو و مورسیه می‌شدند. در آفریقای شمالی حدود ده منطقه معدنی در مراکش، الجزایر و تونس مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت. این مناطق شامل معدنی در جبل‌الحدید در کوه‌های اطلس، ریف، گورالحدید در الجزایر و مجانت‌المدن در تونس می‌شد. کانه‌های آهن از سیسیل استخراج و صادر می‌شدند. در مصر از این کانه‌ها که فی‌المثل در نوبیا و ساحل دریای سرخ در دسترس بودند، بهره‌برداری می‌شد. سوریه به خاطر فن استخراج فولاد و آهنش مشهور بود. کانه‌های آهن در جنوب و در رشته کوه‌های میان دمشق و بیروت بدست می‌آمد. کشورهای اسلامی در شرق دارای کانه‌های آهن غنی‌تری نسبت به مصر، سوریه و عراق بودند. استان فارس دست کم چهار مرکز معدنی مهم آهن داشت. همچنین معادن آهن در خراسان، آذربایجان، ماوراء جیحون و ارمنستان واقع بود.

جیوه عمدتاً از اسپانیا وارد می‌شد. ادریسی به معدنی در شمال قرطبه اشاره می‌کند که در آن بیش از هزار کارگر در مراحل مختلف استخراج کانه‌ها و نیز جیوه کار می‌کردند. معدن دیگری برای استخراج جیوه‌فرغانه در ماوراء جیحون بود.

نمک در مناطق متعددی تولید می‌شد. البته این فرآورده کالایی ضروری بود و تولید آن در برخی مناطق در مقیاس وسیع و برای مقاصد صادراتی صورت می‌پذیرفت. برای مثال تولید آن در آفریقای شمالی، جایی که معادن نمک در حواشی کویر در جنوب واقع بود، انجام می‌شد. نمک توسط کاروانها از جنوب صحرا (Sahara) حمل می‌شد تا با طلا معاوضه شود. هزاران انسان و شتر به این کار اشتغال داشتند. سایر معادن مهم نمک یا مراکز تولید آن در خراسان، عربستان و ارمنستان واقع بود.

زاج سفید یمن به خاطر کیفیتش مشهور بود اما بنابر قول ادریسی منبع اصلی آن در چاد قرار داشت. این ماده معدنی به مصر و همه کشورهای آفریقای شمالی صادر می‌شد. در میان تعداد زیادی از کانه‌های دیگر که شناخته شده بودند و مورد استفاده قرار می‌گرفتند، پنبه‌ی نسوز بدخشان نیز موجود بود و از آن فتیله و پارچه‌های ضدآتش ساخته می‌شد. زغال سنگ هم شناخته شده بود و در مناطقی نظیر فرغانه، که در آنجا استخراج و فروخته می‌شد، مورد استفاده قرار می‌گرفت. کانه‌ی مذکور به عنوان سوخت برای اجاق‌ها استفاده می‌شد و خاکستر آن به صورت عنصر شوینده به کار می‌رفت.

انواع گوناگون سنگ‌های قیمتی نیز استخراج می‌شدند. چندین اثر درباره گوهرتراشی عربی وجود دارد که از مشهورترینشان کتاب "الجماهير"^(۱) بیرونی است (این کتاب به کوشش کرنکو (F. Krenkow) در سال ۱۹۳۶ در حیدرآباد دکن چاپ شد).

سنگ یاقوت در بدخشان استخراج می‌شد و همچنین از سریلانکا وارد خاورمیانه می‌شد. الماس از شبه قاره هند، عقیق و سنگ باباغوری (Onyx) از یمن، زمرد و سنگ لاجورد از مصر و فیروزه از نیشابور می‌آمد. کروندیوم (Corundum) از نوبیا و سریلانکا وارد می‌شد و بلور (Crystal) در عربستان و بدخشان استخراج می‌شد. غواصی برای صید مروارید، [باستان‌پژوهی، شماره ۱۰، سال ۴، زمستان ۱۳۸۱، ص ۲۲-۱۷].

صنعتی شکوفا بود و مرجانها از سواحل آفریقای شمالی و سیسیل صید می‌شدند.

در دوره خلفای اموی و عباسی، عایدی معادن در قلمروشان جهت برآوردن تقاضا برای برخی از مهمترین فلزات کافی بود. در دوره‌های بعد وقتی که امپراطوری به پادشاهی‌های مختلف تجزیه شد، اغلب یکی از پادشاهی‌ها یا دیگری جنگ می‌کرد، در این هنگام تعداد زیادی از کشورهای اسلامی به یک یا چندین فلز نیاز پیدا می‌کردند و این فلزات را از مناطق غیراسلامی وارد می‌کردند. این امر، چنانکه پیشتر دیدیم، به خاطر این واقعیت بود که کانه‌های فلزدار (Metaliferous) در سرتاسر کشورهای اسلامی به گونه‌ای کاملاً نابرابر پراکنده بودند. برخی از این کشورها ذخایر غنی‌ای از چندین فلز داشتند (در حالی که) دیگران تقریباً چیزی نداشتند. برخی مناطق در حواشی جهان اسلامی بویژه آسیای مرکزی و فارس در شرق و اسپانیا در غرب از معادن فلزی نسبتاً غنی‌ای برخوردار بودند. در اسپانیا معادنی از طلا، نقره، سرب و آهن در هر منطقه وجود داشت. به نظر می‌رسد استخراج معدن که به علت (نامعلومی) در دوره ویزیگوتها رو به نقصان گذاشته بود، تحت فرمانروایی امویان اسپانیا احیا و شکوفا شد.

در زمان خلفا عایدی طلا در کشورهای اسلامی برای ضرب منظم دینارهای طلا نا کافی بود، بویژه بعد از اینکه اسپانیا از "امپراطوری عباسی" جدا شد. این امر، در انتشار بطیء ضرب سکه طلا در استانهای شرقی امپراطوری خلیفه کاملاً دخیل بود. در واقع، کشورهای اسلامی همواره به تأمین طلا از سوی مناطقی وابسته بودند که امروزه از سنگال و مالی تشکیل شده است. از سوی دیگر در امپراطوری خلیفه معادنی غنی از نقره یا سرب نقره‌دار (argentiferous) وجود داشت که امکان ضرب درهم‌های نقره را در به طور مرتب فراهم می‌ساخت. بیشترین این معادن در استان پهناور خراسان بود و مشهورترین آنها، چنانکه دیدیم در پنجشیر قرار داشت. اسپانیا نیز به لحاظ دارا بودن کانه‌های نقره‌دار غنی بود.

نویسندگان عرب در آغاز دوره میانه شکی باقی نگذاشته‌اند که تولید مس امپراطوری برای مصارف متعدد فلزی نا کافی بود. مس برای ضرب فلوس، پوشاندن بام مساجد، پوشش دروازه‌های شهرها و ساختمانهای عمومی مورد نیاز بود. اما بیش از همه برای رشد صنعت ابزارهای مسی ساخته شده، یعنی کتری‌ها، قابلمه‌ها و ظروف متنوع دیگر کاربرد داشت.

مس همچنین برای ترکیب با قلع و روی به ترتیب برای ساخت آلیاژهای برنز و برنج مورد نیاز بود. بنابراین از گذشته دور مس به ناگزیر از اروپا وارد می‌شد. در دوره پیش از جنگ‌های صلیبی، آشکارا مقدار زیادی مس از (کوه‌های) اورال وارد می‌شد. در مجموع کانه‌های فلزدار که در بردارنده سرب و قلع هستند در امپراطوری خلافت کم نبودند، اما بویژه تقاضا برای سرب خیلی زیاد بود. سرب برای آسترکردن آب برها (aqueducts)، برپا کردن حمامهای عمومی و اختصاصی و مسقف کردن ساختمانهای عمومی استفاده می‌شد. این موضوع که آیا تولید سرب کافی بود؟ یا اینکه آیا مقادیر بیشتری از مناطق غیراسلامی وارد نمی‌شد؟ مبهم است. البته اگر فلز قلع را در نظر آوریم این امر درباره قلع صادق بود. این فلز در اسپانیا تولید و به شرق اسلامی صادر می‌شد، اما از همان زمانهای اولیه‌ی قرن دهم قلع از دُون (Devon) و کرنوال (Cornwall) در بریتانیا، و همچنین از مالزی وارد می‌شد.

ذخایر آهن در خاور نزدیک ناچیز بود، ولی مقادیر کافی آن از استانهای دیگر امپراتوری خلافت و از کشورهای همسایه که تابع خلفا و جانشینان آنها بودند یا از جهات دیگر به آنها وابسته بودند، قابل تولید بود. از فلزات دیگر، کانه‌های روی از ایالت ایرانی کرمان و همچنین از اسپانیا وارد می‌شد؛ همین طور، جیوه از حواشی جهان اسلامی، از اسپانیا و ماوراء جیحون می‌آمد.

وقتی که امپراتوری خلفا فروپاشید، نابرابری توزیع ذخایر فلزی، البته در برخی کشورها به آسیب دیدن موقت یا فقدان دائمی مواد خام اصلی منجر شد. البته کشورهایی که به این امپراتوری تعلق داشتند تا حد زیادی به صورت یک واحد اقتصادی باقی ماندند و به مبادله تولیدات و حفظ ساختارهای اقتصادی‌شان پرداختند. تهی شدن ذخیره فلزات که به عنوان مواد خام برای کالاهای تولیدشده و شمش برای ضربخانه‌ها به خدمت گرفته می‌شد، به عنوان سلاحی در مبارزات سیاسی مورد استفاده قرار می‌گرفت. البته سیاستمداران قرون میانه از این امر که قطع تأمین طلا برای دشمن به مفهوم تضعیف منابع مالی او است، و کنترل ذخیره آهن ضربه‌ای به تولید سلاحها به شمار می‌رود، آگاه بودند. پیش تر در نیمه قرن دهم معادن ایالاتی که تحت سلطه "خلفای عباسی باقی مانده بودند یا دسترسی به آنها ممکن بود، فقیر بودند. به تبع آن موجودی شمش ضربخانه‌های عراق برای ضرب دینارهای طلا نا کافی بود. دینارهای پایان دوره آل بویه در عراق و جنوب غربی ایران از آلیاژ نامرغوبی بودند. حتی معادن وادی ال‌الاکي در این دوره مقدار ناچیزی طلا حاصل کردند، بطوری که مصر در دوران ایوبی و مملوک کاملاً وابسته به تأمین (طلا) از آفریقای غربی بود.

حتی موجودی کشورهای اسلامی در دوران میانه متأخر خیلی بی‌سامان بود. در قرون یازدهم و دوازدهم کمبود نقره همه جا مشهود بود؛ چنانکه ضرب درهم‌های نقره‌ای متوقف شده بود. برای این پدیده چندین دلیل می‌تواند وجود داشته باشد. در میان فرضیه‌های مبتنی بر شاخصه‌های اقتصادی این پیشنهاد وجود دارد که سرریز شدن مقادیر زیادی از طلای شبه قاره هند به افغانستان و ایران، که ناشی از جنگهای محمود غزنوی بود، به صدور متقابل نقره به ایالات جدیداً فتح شده منجر شد. طبق نظریه دیگری، خرید کالاها توسط بازرگانان مسلمان در روسیه منجر به صدور مقدار زیادی سکه نقره به روسیه و احتکار آن شد. با این حال ممکن است کمبود نقره، دست کم در بخشهایی ناشی از نقایص تکنولوژی استخراج معدن در قرون میانه باشد. در واقع، آدریسی به این واقعیت اشاره می‌کند که کار در "کوه نقره" میان هرات و سرخس به خاطر نقایص فنی و نبود چوب برای گداختن کانی‌ها متوقف شد.

علت کمبود نقره هرچه که باشد، با آغاز قرن سیزدهم ضرب سکه نقره در عراق، سوریه و مصر احیا شد. آشکار است که این امر بدین جهت ممکن شد که فاتحان مغول نقره‌های آسیای مرکزی را با خود به سرزمینهای اسلامی آوردند. در نیمه نخست قرن سیزدهم مقادیر زیادی نقره در دسترس بود و در نتیجه این فلز ارزان بود. شمش نقره از معادنی در خاور میانه و آسیای مرکزی تأمین می‌شد. اما در دوره قرون میانه متأخر، ضربخانه‌ها و زرگران مصری و سوری هم با نقره آسیای مرکزی و هم نقره اروپا تأمین می‌شدند. آنالیزهای شیمیایی جدید بر روی سکه‌های مصری نشان می‌دهد که شمش استفاده شده توسط مملوک‌ها برای ضرب درهم‌های نقره‌ای از هر دوی این مناطق وارد می‌شد.

در دوره قرون میانه کشورهای ایران و ترکیه مقدار زیادی از مس را تأمین می‌کردند. در این کشورها و در برخی کشورهای همسایه ذخایر فراوانی از مس با کیفیت خوب وجود داشت. برخی از این معادن در آذربایجان و بقیه در ارمنستان قرار داشتند. سوریه و مصر که فاقد ذخایر مس بودند، به ناگزیر آن را از اروپا وارد می‌کردند. اگر ونیزی‌ها و جنوایی‌ها مجموعه‌های سنگینی از مس آلمان، اسلواکی و بوسنی را به شرق حمل نمی‌کردند، مسأله فراوانی سکه‌های مسی و تولید شمار زیادی ظروف مسی غیرممکن بود. از سوی دیگر، کشورهای آفریقای شمالی می‌توانستند نیازهایشان را با مس (حاصل از) منابع محلی تأمین کنند. کشورهای خاور نزدیک نیز فاقد سرب و قلع بودند و چاره‌ای نداشتند مگر خرید آن از تجار

بود. طناب توسط قلابهایی که به انتهای آن متصل است به سطل می‌رسید. وقتی که بارها سنگین تر بود، چرخ لنگرهای پیشرفته تری برای حمل و نقل استفاده می‌شد.

این ابزارها توسط بنوموسی برای استفاده در کارهای عمومی ابداع شد و می‌توانست در استخراج معدن مورد استفاده قرار گیرد. بویژه چنگک پوست صدفی برای لایروبی کانه‌هایی که زیر آب قرار داشتند، مفید بود. گو اینکه ماسک گاز به یک معدنچی امکان می‌داد تا به گودالها یا راهروهای که هوای آلوده داشتند وارد شود. البته او به زودی باید منطقه آلوده را در فواصل سریع ترک می‌کرد. بیرونی نوعی دستگاه تنفس اولیه را نام می‌برد که توسط غواصان مروارید استفاده می‌شد. غواص کلاه چرمی بی‌منفذی می‌پوشید که از آن لوله‌ای به سطح آب هدایت می‌شد؛ جایی که انتهای آن میان تیوپهای بادشده شناور بود.

ابزار اصلی معدنچی کلنگ دوسر بود. این ابزار یک سر تیز برای شکافتن سنگها و یک سر تخت برای کوبیدن یا فروکردن داشت. همچنین انواع چکش‌ها، اسکنه‌ها، گره‌ها، اهرم‌ها، کج‌بیل‌ها و خاک‌اندازها موجود بود. از پیه‌سوز برای روشنایی استفاده می‌شد. همانطور که در مورد قنات‌ها صدق می‌کرد، آنها برای به خط آوردن مسیر حفاری، چنانکه تاکنون ذکر شد، مفید بودند و نیز شاخص‌های قابل اعتمادی برای اطمینان از ذخیره هوای سالم به شمار می‌رفتند.

تهویه مشکل مهمی بود. در پنجشیر چنانکه دیدیم با هزاران خرده معدنچی که در جستجوی دیوانه‌وار برای نقره کار می‌کردند سرمایه عمده در حداقل قرار داشت و معمولاً تدارکی برای تهویه دیده نمی‌شد. اگر چراغها از سوختن بازمی‌ایستاد، معدنچی‌ها به سادگی حفاری را متوقف می‌کردند. در کارهای سازمان یافته‌تر استخراج معدن، بویژه در معادن دولتی تهویه همواره امر مهمی بود. این امر بویژه در معادن خیلی عمیق نظیر معادن نزدیک قرطبه در اسپانیا ضروری بود. گودالهای ویژه‌ای برای تهویه تدارک دیده می‌شد یا وقتی که برای زهکشی به گودالهای متعددی نیاز بود، این مسأله می‌توانست به مقصود دوگانه، زهکشی و تهویه خدمت کند.

البته زهکشی هم مشکل اصلی دیگری در عملیات استخراج معدن بود. در اینجا باز هم خرده معدنچی‌ها نمی‌توانستند به گونه‌ای مؤثر از عهده حل این مشکل برآیند. از سوی دیگر چنانکه قزوینی (جغرافیدان - وفات به سال ۱۲۸۳ م.) گزارش داده است، زهکشی در معادن با مالکیت دولتی نظیر ضرابخانه‌های نقره در زکندر (Zakandar) در آفریقای شمالی به طور صحیح انجام می‌شد.

به نظر می‌رسد سیستم قرارداد برعهده حاکم بود که مالک معادن بود، و سیستم‌های تهویه و زهکشی را مستقر می‌کرد. سپس اجازه کاوش واقعی کانه‌ها و استخراج نقره را به پیمانکاران صادر می‌کرد. او چرخهای بالاآورنده آب را در سه مرحله مستقر می‌کرد، چراکه بیست ذراع از سطح آب در معادن تا سطح زمین فاصله بود. نخستین مرحله، آب را تا سطح مینی بالا می‌آورد، جایی که آب را داخل مخزنی خالی می‌کرد و به واسطه آن چرخ دوم به حرکت درمی‌آمد. این چرخ دوباره آب را تا مخزن (دیگری) بالا می‌آورد، جایی که چرخ سوم نصب شده بود و این چرخ آب را تا سطح زمین بالا می‌آورد؛ جایی که به درون کانالها برای آبیاری باغها و مزارع تخلیه می‌شد.

بیان نشده که چه نوع چرخي مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما احتمالاً نوعی چرخ به نام تیمپانیوم (Tympanum) باشد. یک Noria صرفاً در آب رونده عمل می‌کرد و نامحتمل است که جای کافی برای نصب یک سقایه داشته باشد. بالا بردن یک سوم ۲۰ ذراع یا حدود ۳/۳ متر برای یک تیمپانیوم باورکردنی است، اگرچه این بشکه ۹ الی ۱۰ متر قطر داشت.

اروپای جنوبی، که این فلزات را از صربستان، بوسنی، آلمان و انگلستان وارد می‌کردند. کشورهای فارسی زبان توسط معادنی در ماوراء جیحون حمایت می‌شدند.

چنانچه آهن را مورد توجه قرار دهیم، ذخایر کشورهای خاور نزدیک جداً ناکافی بود و این کشورها به حمایت اروپا وابسته بودند. در اروپا این تجارت صادراتی توسط کلیسا به عنوان خیانت بر ضد مسیحیت لکه‌دار شده بود و خاطیان توسط مراجع دینی کلیسایی و غیرکلیسایی به مجازاتهای شدیدی تهدید می‌شدند. با این همه، تجار ایتالیایی مسلمانان را در این کالای ممنوع شده (و دیگر کالاها) حمایت کردند، و جمهوری پیزا با پیمانی که در سال ۱۱۷۱ میلادی با صلاح‌الدین (ایوبی) منعقد ساخت، رسماً فروش آهن به مصر را متقبل شد.

تکنولوژی استخراج معدن

همچون استخراج معادن جدید دو گونه عملیات اصلی - زیرزمینی و فضای باز - در استخراج معدن وجود داشت. در استخراج معدن به شیوه زیرزمینی یک روش عبارت بود از حفر گودال به طور عمودی در خاک و سپس حرکت در راهروهای افقی تا وقتی که به رگه‌ها می‌رسیدند. در سوره گودال معدن (بئر) یعنی چاه و راهروی افقی (درب) یعنی راه نامیده می‌شد. در کوههای لبنان یک گودال شاخص تنها شش یا هفت متر عمق داشت در حالی که تونل‌ها خیلی طویل بودند. ادریسی معادن جیوه را در شمال قرطبه دیده است و می‌گوید که عمق‌شان از سطح زمین تا پایین معدن ۲۵۰ فاتوم (۲) بوده است. معادن دیگری با عمق متوسط گزارش شده‌اند. بدین ترتیب معادن نقره در آفریقای شمالی عمق متوسط شان بیست ذراع بود. فن حفر کردن گودالهای عمودی و تونل‌های افقی فن آشنایی در جهان اسلامی داشت که در ساخت قنات‌ها استفاده می‌شد.

اما اغلب بیشتر معدنچی‌ها ترجیح می‌دادند که به جای حفر گودالهای عمودی، در دامنه‌های یک کوه راهروهای افقی حفر کنند و رگه‌ها را پی بگیرند. این روش تنها زمانی می‌توانست استفاده شود که زمین مناسب باشد، اما روش مذکور همچنین برای معدنچی‌ای که به طور خصوصی کار می‌کرد آسانتر و کم‌خرج‌تر بود. این موضوع قابل توجه است که گزارشهای معادن یا گودالهای عمودی اغلب برای معادنی به کار رفته است که تحت مالکیت دولت بودند ابوالفداء (مورخ - وفات به سال ۱۳۳۱ م.) توصیف روشی را درباره فعالیت‌های خصوصی برای استخراج نقره در پنجشیر ارائه کرده است. او توصیف کرده است که چگونه یک شخص رگه‌ای (از معدن) را دنبال می‌کند به این امید که به نقره برسد. همان رگه ممکن است توسط معدنچی دیگری انتخاب شود، در حالی که از محل متفاوتی شروع به کار کرده است. در این مورد معدنچی‌ای که ابتدا موفق به کشف نقره می‌گردد حق بهره‌برداری از همه آن را دارا می‌شود، و آن دیگری هیچ چیز. محصول تنها در صورتی تقسیم می‌شود که آنها به طور همزمان به نقره برسند. شانس می‌توانست در مدت زمان بسیار کمی منجر به شکست یا موفقیت شود. تونل‌ها یا چراغهایی روشن می‌شدند و اگر چراغها خاموش می‌شدند شکاف متروک می‌شد چراکه پیشروی بیشتر کار خطرناکی بود.

برای کشیدن سنگ‌های کانی به بیرون گودال‌ها از چرخ و طناب استفاده می‌شد. یک شکل ساده اما کارآمد چرخ چاه در معادن آهن سوره استفاده می‌شد و هنوز هم در ساخت قنات در ایران برای کشیدن آب و همچنین در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای به کار انداختن این ماشین یک کارگر در نیمکتی در یک سوی گودال یا چاه می‌نشاند و در حالی که میله‌های افقی چرخ را با دستانش به سوی خود می‌کشد، به طور همزمان با پاهایش آن را به طرف عکس خود هل می‌دهد. مواد، داخل سطل کوچکی بار می‌شد که دارای دو دسته و حدود ۳۰ تا ۳۵ سانتی متر قطر

امکان دیگر، ملخ ارشمیدسی است که ما می‌دانیم در معادن رومی استفاده می‌شد اما به نظر می‌رسد این احتمال به خاطر استفاده قزوینی از واژه "دولاب" که همواره به معنای نوعی چرخ است، منتفی می‌شود. بعداً ممکن است ماشین‌های پیشرفته تری نظیر ماشینی که توسط تقی‌الدین در قرن شانزدهم توصیف شده است، مورد استفاده قرار گرفته باشد (شکل ۲).

فلز شناسی (مواد) غیر آهنی

بیرونی هنگام صحبت از طلا طبیعی که از معادن طلا جمع‌آوری می‌شد، می‌گوید طلا طبیعی معمولاً بدون ناخالصی نیست و در نتیجه این طلا باید با گداختن یا شیوه‌های دیگر پالوده شود. او شرح مفصلی درباره فرایند آمیختن ارائه می‌کند که در معادنی با مقیاس تجاری به کار می‌رفت: "پس از خرد کردن سنگ طلا یا نورد کردن آن، فلز طلا از سنگ‌های دیگر شسته می‌شود. آنگاه طلا و جیوه ترکیب می‌شوند و سپس آن را در قطعه‌ای چرمی می‌فشرند تا آنکه جیوه از سوراخ‌های این قطعه چرمی خارج شود. بقیه‌ی جیوه با آتش خارج می‌شود (الجماهیر، ۲۳۴). علاوه بر این او توصیف می‌کند که چگونه (۲۳۶) طلا از آب‌های عمیق رود سند استخراج می‌شد:

در سرچشمه‌های آن مکان‌هایی وجود دارد که در آن مکان‌ها گودال‌های کوچکی در بستر رود حفر می‌کنند. آب بر روی این گودال‌ها جریان دارد. آنها گودال‌ها را با جیوه پر می‌کنند و برای مدتی آن را رها می‌کنند. آنگاه پس از اینکه جیوه به طلا تبدیل شد برمی‌گردند. فرایند فوق به این علت است که در ابتدا آب تند است و ذرات شن و طلا را که در نازکی و ظرافت همانند بال‌های پشه‌اند، حمل می‌کند. آب این ذرات را در سراسر سطح جیوه که طلا را گرفته و شن را پس می‌زند، حمل می‌کند.

طلا یا قانگری (Cupellation) و روش‌های دیگر آزمایش می‌شد. این روش‌ها شامل (استفاده از) سنگ محک، اندازه‌گیری جرم خاص (طلا)، و توجه به زمان فرایند انجماد طلا بود پس از اینکه از کوره خارج می‌شد.

برخلاف طلا، نقره‌ی طبیعی در ذخایر ابرفتی یا در ماسه‌ها و شن‌های بستر رودخانه‌ها کشف نمی‌شد بلکه در رگه‌های دورنه‌ای (embedded veins) مناطق کوهستانی باید جستجو می‌شد. با این حال، مجموعاً نقره‌ی طبیعی فراوان نبود و چنانکه در بالا ذکر شد، منبع اصلی آن از گالن (سولفات سرب) بود و گسترده‌ای کمتر از کانی‌های دیگر سرب داشت. نخستین مرحله در تولید نقره تحصیل سرب از گالن بود. این کار نخست با حرارت دادن تا مرحله سرخ شدن و سپس ذوب کردن انجام می‌شد. در نتیجه سرب می‌توانست جهت استخراج نقره عمل آورده شود. در ادبیات عربی، نتیجه برخی آزمایش‌هایی را می‌بینیم که به مقدار نقره‌ای اشاره دارند که می‌توانست از یک شمش سرب بازیافت شود. گاهی اوقات نقره همراه با طلا در آنچه که الکتروم نامیده می‌شود، وجود داشت. در اینجا نیز روش‌ها برای جدا کردن دو فلز ارزشمند انطباق داشتند.

قلع از مالزی، اسپانیا و انگلستان به جهان اسلام آورده و در آلیاژها استفاده می‌شد. کاربرد اصلی این فلز در مرحله غیرآلیاژی "قلع اندودکردن" ظروف آب برای ممانعت از خوردگی بود.

روی به عنوان فلزی مجزا توسط متالورژیست‌ها و شیمیدانان آغاز دوره اسلامی شناخته شده نبود. این فلز نخست در ترکیب با مس جهت ایجاد برنج، از طریق توتیا شناخته و به طور گسترده استفاده شد. توتیا معمولاً اکسید روی خالص است که از کربنات روی طبیعی بدست می‌آمد. نویسنده‌گان مختلف شیوه تولید محصول خالص را از نوع طبیعی آن توصیف کرده‌اند. سنگ کانی آن در کوره‌ها با قرار داده می‌شد که حاوی میله‌های سرامیکی درازی بود. به واسطه حرارت دادن کانه‌ها دود توتیا بالا می‌رفت و به صورت لایه‌ای نازک به این میله‌ها می‌چسبید. مقدسی "کوره‌های بلند شگفت‌انگیزی در روستاهای کوهستانی" در استان ایرانی کرمان دیده بود.

آنها بعداً توجه مارکوپولو را هنگامی که از همان ناحیه بازدید کرده بود، جلب کرده بودند. تا قرن شانزدهم، روی به عنوان فلزی مجزا شناخته شده بود. ابوالفضل منشی اکبر، امپراتور بزرگ مغول، ترکیبات متعددی ارائه می‌کند که در آنها روی خالص به کار برده می‌شد. آنتیمونه و آرسنیک. آنتیمونه از سولفور آنتیمونه بدست می‌آمد و یکی از اجزاء تشکیل دهنده آلیاژ مس بود. آرسنیک به عنوان یک فلز اهمیت نداشت بلکه اهمیت آن به خاطر آماده‌سازی از سولفورها پیش بود.

مس معمولاً از کانه‌های سولفور مس بدست می‌آمد و بندرت به صورت اکسید یا کربنات وجود داشت. این کانه‌های آخری صرفاً به حرارت دادن یا زغال نیاز داشتند، در حالی که سولفورها به گرم کردن تا حد سرخ شدن، گداختن با اکسایش محدود و تغییرات پی در پی نیاز داشتند. با این حال کشف سودمندی در اسپانیای مسلمان رخ داد. کانه‌های سولفور در معرض هوا و در مجاورت آب، به سولفات‌های قابل حل اکسید می‌شدند. سپس مسلمانان دریافتند که اگر آب حاوی سولفات مس بر روی آهن جاری شود، مس خالص ته‌نشین و آهن حل می‌شود. از آنجا که آهن در اسپانیا ارزان و فراوان بود، این کشف روش کارآمدی برای بازیافت مس از کانه سولفور به بار آورد و استخراج مستقیم کانه‌ی مس ضرورت کمتری یافت.

برنز آلیاژ مس و قلع به شمار می‌رود. این فلز بیشتر برای لوازم و اشیاء ساده آشپزخانه بکار می‌رفت و آلیاژی بود که آن را اساس بیشتر کارها ایشان قرار می‌دادند. نمونه‌ای از استعمال کم اما مهم برنز در تولید اجزاء هیدرولیک نظیر قلاویزها و شیرها بود. برنج آلیاژی از مس و روی است که سفت‌تر، سخت‌تر و نسبت به مس خالص قابلیت چکش‌خواری کمتری دارد. انواع مختلف اشیاء برنجی با تغییر مقدار روی بدست می‌آمدند. یک آلیاژ برنج ۲۰ درصدی مشابه رنگ طلا است. هنگامی که روی به عنوان یک فلز شناخته شده نبود، مس در آمیخته‌ای از زغال و کانه‌ی روی پودر شده حرارت داده می‌شد. بخشی از روی که در مجاورت مس شکل می‌گرفت با سمند کاری از آن جدا می‌شد.

متالورژی آهن و فولاد

در مراکز فلزشناسی اسلامی سه نوع اصلی آهن و فولاد استفاده می‌شد. آهن پرداخته (نرم آهن)، آهن ریخته‌ای (داس) و پولاد (فولاد). آهن پرداخته نرم بود و واژه "نرم آهن" در زبان فارسی به معنای آهن نرم است. این فلز چکش‌خوار بود اما قابلیت حرارت‌پذیری نداشت. چنانچه استحکام مورد نظر نباشد، آهن پرداخته کاربردهای زیادی داشت و به عنوان ماده‌ای خام برای ساخت فولاد استفاده می‌شد.

برای فلزکاران و شیمی‌دانان دوره اسلامی آهن ریخته‌ای ماده شناخته شده‌ای بود. به نظر می‌رسد که مورخان تکنولوژی، تا زمان‌های اخیر، از اهمیت آن در قرون میانه اسلامی هم به عنوان فرآورده‌ای میانجی و هم محصول نهایی آگاه نبوده‌اند. بنابر قول بیرونی این ماده "آهن" بود و مایعی بود که در خلال ذوب و استخراج آهن روان می‌شد. جلدکی،^(۳) که پیشتر با او به عنوان یک نویسنده مهم مربوط به شیمی در قرن چهاردهم آشنا شدیم، توصیفی از تولید آهن ریخته‌ای ارائه می‌کند. این فرایند در کارگاه‌های خاصی انجام می‌شد که از "خاک زردی" به عنوان ماده خام استفاده می‌کردند. این کانه را پس از (اینکه با مقدار کمی قلیا و نفت ورز داده می‌شد، در کوره‌هایی قرار می‌دادند که برای ذوب آن طراحی شده بود و با قوه‌ی دمش نیرومندی حرارت آن تشدید می‌شد؛ تا اینکه ذوب می‌شد. آنگاه فلز از طریق صافی‌هایی در پایین کوره‌ها جایی که درون شمش‌ها شکل می‌گرفت، به پایین سرریز می‌شد.

خواص آهن ریخته‌ای می‌تواند از کتاب جماهیر بیرونی تلخیص شود. چنانکه ادامه می‌دهد: این ماده هنگامی که کانه‌های آهن ذوب می‌شوند به

شمار می‌رود. مورخ برجسته متالوژی، سیریل استانی اسمیت، نوشته است که "در مقایسه با مسامحه متالوژیست اروپایی در ساختار آن، بهره‌مندی و استفاده از این ساختار در شرق باشکوه است. در شرق حکاک برای نمایش طرحها مبتنی بود بر اختلافات ترکیبی که به طور همزمان با لبه با طرح جوش خورده اروپایی مورد استفاده قرار می‌گرفت و از آن پس مستمراً تا یک سطح بالای هنری توسعه یافت."

تلاش برای روشن کردن تاریخ ساخت شمشیر در خاورمیانه و آسیای مرکزی کار دشواری است و نتایج حاصله احتمالاً به نحوی غیرقطعی اثبات می‌شوند. شمشیرهای طرح‌دار در عربستان پیش از اسلام مورد استفاده قرار می‌گرفت. امرؤالقیس (شاعر - وفات حدوداً به سال ۵۵۰ م.) جوهر شمشیر را همچون رد مورچه‌ها توصیف کرده است. شاعر دیگری، که معاصر امرؤ بود، لبه شمشیر را به آبی توصیف کرده که خطوط موج آن شبیه استخری است که بر سطح آن باد می‌لغزد. در واقع، در شعر عربی زیبایی شمشیر جوهردار همواره منبع الهام به شمار می‌رفت. منشأ لبه‌ها در این منابع نامعلوم است. در جنگ یمامه در سال ۶۳۶ م. هم‌اوردان مسلمان به شمشیر هندی مسلح بودند و ارجاعات زیادی به آنها در آثار شعری اسلامی موجود است. از سوی دیگر، شمشیر یمنی به اندازه شمشیر دمشق مشهور بود. مثنوی (شاعر - وفات به سال ۹۶۵ م.) شمشیر عربی را به خوبی با شمشیر هندی مقایسه کرده است. این گمانی معقول است که در خاورمیانه و آسیای مرکزی (که شامل هند شمالی هم می‌شود) اندکی پیش از ورود اسلام، سنتی واحد در ساخت فولاد و بویژه ساخت شمشیر وجود آمده بود.

در نتیجه تجارت فولاد جریان شکوفنده‌ای در داخل این حوزه فرهنگی گسترده به شمار می‌رفت. بیرونی ذکر کرده است که "تخم‌های فولادی در هرات ریخته و به هند فرستاده می‌شدند و ادیسی می‌گوید که آهن از آفریقای شمالی به هند صادر می‌شد. بنابراین اسمیت مسلماً درست می‌گوید وقتی که می‌نویسد: به نظر می‌رسد که پراکندگی جغرافیایی این شمشیرها (دمشقی) همراه با دین اسلامی گسترش داشت و آنها تا قرن نوزدهم به ساخت آن ادامه دادند.

در اروپا حدود یک قرن و نیم تلاشهایی انجام شد تا فولادی با کیفیت فولاد دمشقی تولید شود. شمار زیادی از متالوژیست‌ها پژوهش گسترده‌ای در ساخت فولاد انجام دادند که دانشمندان برجسته‌ای نظیر فارادی (Faraday) را شامل می‌شد. این تلاشها شکست خورد و علاقه به تقلید از این لبه‌ها فروکش کرد. وقتی که آهنگران اروپایی تکنیکهایشان را توسعه دادند؛ طرح فرایندهای سیمنس (Siemens) و بسمر (Bessemer) فولاد همگونی را عرضه کرد که برای تولید در مقیاس وسیع مناسب‌تر بود. با این حال تلاش برای تولید فولاد دمشقی سرانجام منجر به فهم دقیق‌تری از این فلز شد. تلاشهای مذکور نشان داد که این لبه‌ها از فولادی با کربن خیلی بالا (حدود ۲-۱/۵ درصد) ساخته شده‌اند و زیبایی و ویژگیهای بُرندگی‌شان را به طور یکسان و امدار ساختار ذاتی قالب‌های فولادی هستند که از آنها ساخته شده‌اند. بخش براق متشکل از ذرات فراوانی از کربید آهن (Cementite) بود در حالی که بخش‌های تیره را فولادی از جنس کربن تشکیل داده بود. البته این ساختار صرفاً بعد از حکاک، که با محلولی از سولفات معدنی انجام می‌شد، قابل رویت بود.

تندی آب جریان می‌یابد؛ همچنین این ماده سخت و به رنگ سفید - نقره‌ای است و گاهی اوقات پودر آن انعکاسی مایل به رنگ صورتی دارد؛ چکش خوار نیست بلکه شکننده است و شکستگی و تردی ویژگی آن به شمار می‌رود. در دیگ‌های ذوب فلز برای ساخت فولاد با آهن پرداخته مخلوط می‌شود. آهن ریخته‌ای به عنوان ماده‌ای خام به تعداد زیادی از کشورها صادر می‌شد. در قرن پانزدهم دست کم دو نوع تجاری آن وجود داشت که یکی از عراق و دیگری از استان ایرانی فارس شناخته می‌شد. در اروپا تولید آهن ریخته‌ای از قرن چهاردهم آغاز شد اما تا یک قرن بعد به حد کافی کیفیت مناسبی برای قالب‌ریزی لوله‌های تنگ نداشت.

جلدکی در رساله مشابهی که در آن از تولید آهن ریخته‌ای بحث می‌کند، چگونگی استفاده از میله‌های آهن ریخته‌ای را از طریق کربنیزه کردن برای تولید فولاد توصیف می‌کند. میله‌ها را در کارگاه ریخته‌گری قرار داده و با دمیدن مداوم هوا آنقدر حرارت می‌دادند تا همانند آب متلاطم می‌شد.

آنها این میله‌ها را با شیشه، نفت و قلیا می‌پروردند تا اینکه در آتش می‌درخشید و مقدار زیادی از ناخالصی‌اش با ریخته‌گری فشرده شبانه‌روزی پالوده می‌شد. آنگاه صبر می‌کردند تا به غلیان می‌آمد و پس از حصول اطمینان از مناسب بودن آن، ماده حاصله را از طریق مجراهایی که از آن همچون آب روان جاری می‌شد، خارج می‌کردند. سپس منتظر می‌شدند تا در قالب شمش‌ها یا حفره‌های با گل ساخته شده‌ای مانند بوته‌های فلزگری به صورت جامد درآید. آنگاه از آنها فولاد پالوده شده‌ای به شکل تخم شترمرغ بدست می‌آوردند و از آن شمشیر، کلاه‌خود، سرنیزه و هر ابزار دیگری می‌ساختند.

همانطور که توسط بیرونی گزارش شده است. روش مشابهی توسط یک آهنگر دمشقی استفاده شده بود که مزید بن علی نام داشت. قبل از اینکه بوته‌های فلزگری در کوره قرار داده شوند با میخ، نعل و دیگر اشیاء آهن پرداخته و همچنین سنگ مرغش (marcasite) و اکسیدمنیزیم شکننده‌ای انباشته می‌شدند. سپس این بوته‌ها با زغال پرمی‌شدند و برای مدتی در کوره و در معرض دمش هوای داغ قرار داده می‌شدند، پس از آن بسته‌های مواد ارگانیک را داخل هر بوته می‌ریختند. ساعتی دیگر پس از دمش هوای داغ، بوته‌ها را به منظور سرد شدن رها می‌کردند و آنگاه "تخم‌ها" را از داخل بوته‌ها برمی‌داشتند.

همچنین بیرونی در همین قطعه روش تولید فولاد ریخته را در دیگها با آمیختن آهن پرداخته و ریخته‌ای توصیف کرده است. این روش تولید فولاد پرداخته در هرات انجام می‌شد و دو ویژگی می‌توانست از آن حاصل آید. یکی آنکه ترکیبات "به یک اندازه ذوب می‌شدند" به طوری که طی عمل آمیختن وحدت می‌یافتند و هیچ ترکیبی قابل تمایز نبود یا مستقلاً دیده نمی‌شد. دیگر اینکه اگر درجه ذوب آهن پرداخته و آهن ریخته‌ای برای هر ماده تفاوت می‌کرد، و بنابراین هم‌آمیزی میان هر دو جزء کامل نبود و بخشهایی از آنها تغییر می‌کرد، هر یک از دو رنگشان با چشم غیرمسلح دیده می‌شد و فرند (پرند) نامیده می‌شد (الجماهیر، ۲۵۶).

فرند (پرند) طرح متمایزی در لبه‌های شمشیرهای "دمشقی" است، و در این زمینه برجسته‌ترین دستاورد مراکز فلزکاری مختلف در شرق به

پی‌نوشتها

* این مقاله ترجمه‌ای است از:

Donald R. Hill, "Mining", *Islamic Science and Engineering*, 1993, pp. 206-219.

از آقای امیر مازیار به خاطر بازبینی ترجمه و راهنمایی‌های سودمندشان و همچنین خانم دکتر هاید لاله برای تذکر برخی نکات تخصصی تشکر فراوان می‌نمایم.

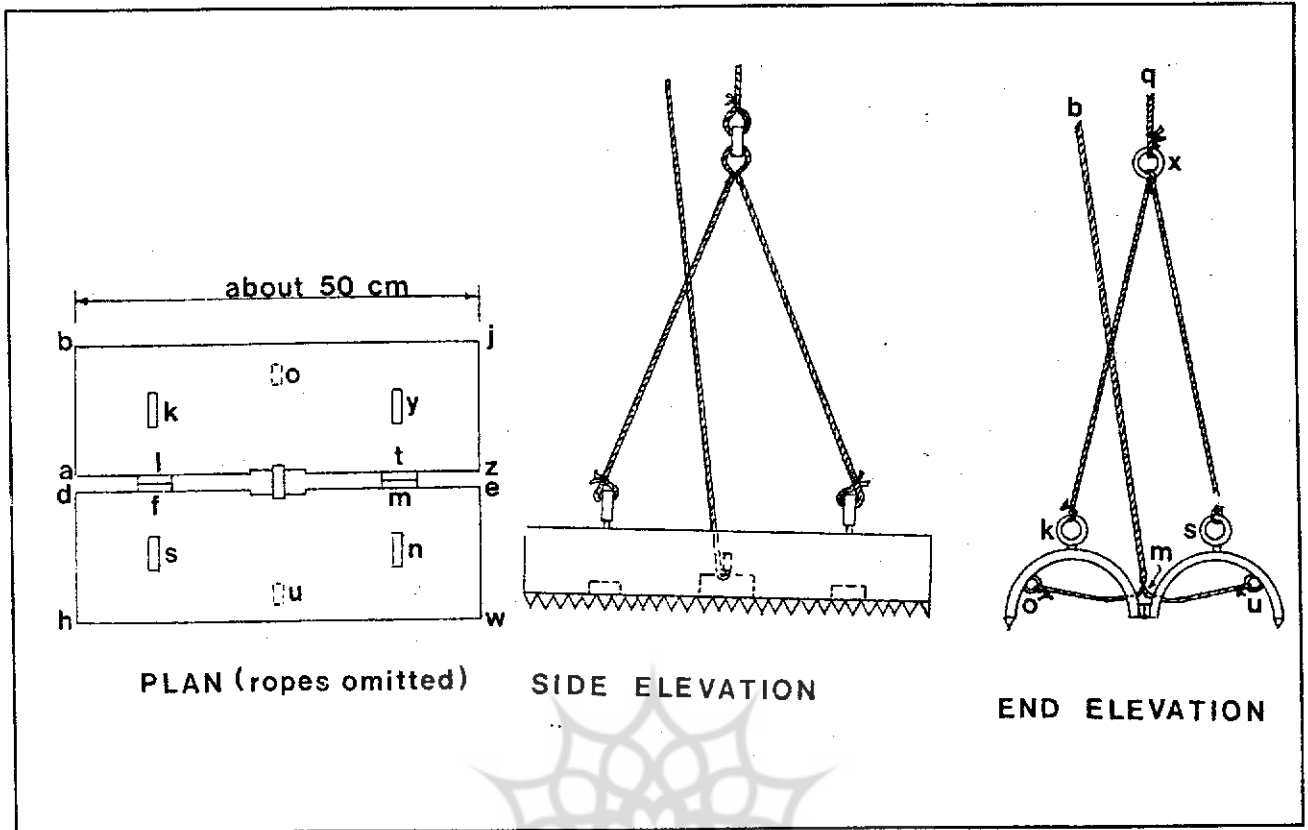
۱. "الجماهیر فی معرفة الجواهر" که به اختصار جماهیر خوانده می‌شود، عنوان کتابی است از ابوریحان بیرونی دانشمند بلندآوازه ایرانی. ابوریحان این کتاب را در زمینه

کاتی شناسی به رشته تحریر درآورده است.

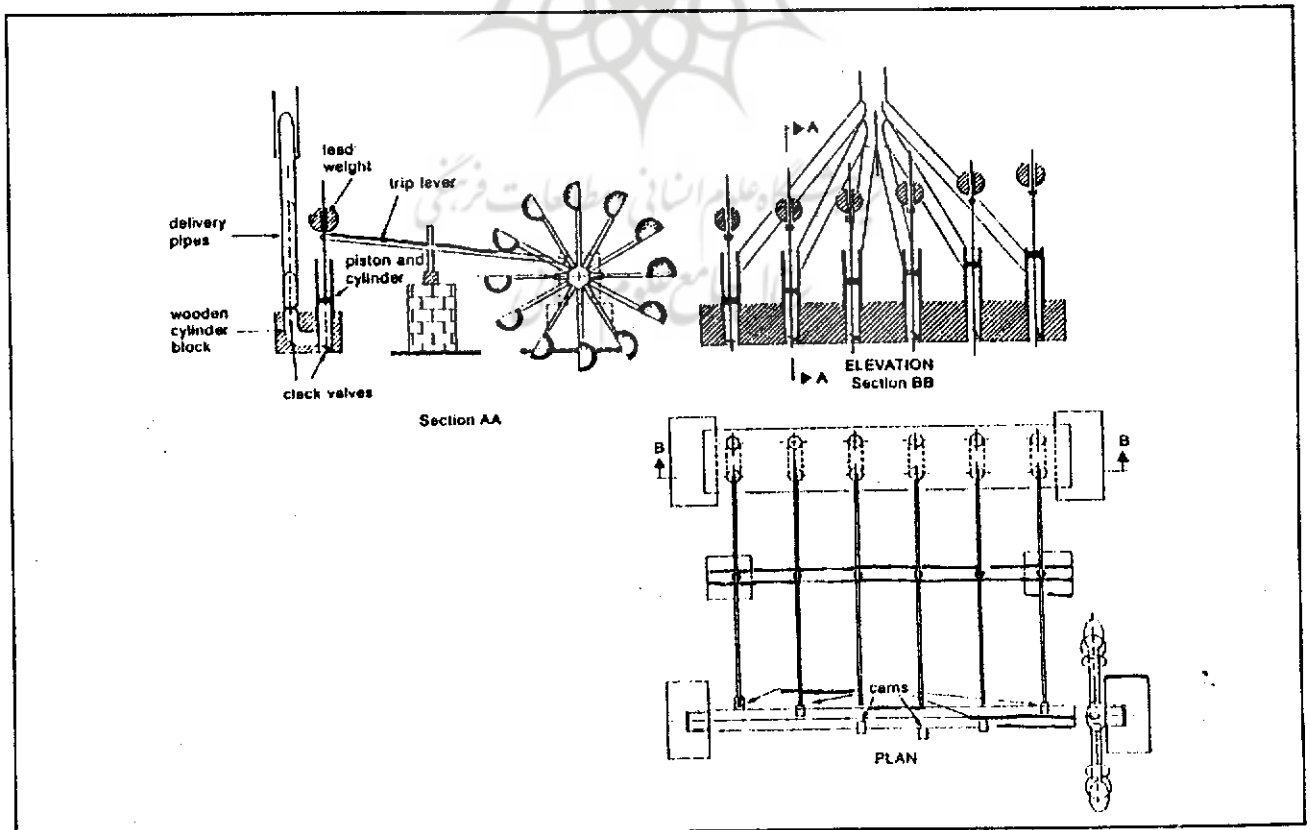
بیرونی در این اثر به شناساندن جواهرات، سنگهای قیمتی و معدنیات همت گماشته است (م).

۲. قاتوم (fathom): واحد اندازه‌گیری عمق آب برابر با ۱/۸ متر یا شش پا (م)

۳. علی بن محمد بن ایدغر جلدکی یا جلدکی ملقب به عزالدین و منسوب به جلدک از قرای خراسان است. او از کیمیاگران برجسته و شارحان آثار جابربن حیان بود که در دمشق اقامت داشت و در سال ۷۶۲ ه.ق وفات کرد (م).



تصویر (۱) چنگک پوست صدفی که توسط پنوموسی ابداع شد. نیم استوانه‌های مسی لولادار به وسیله طناب qx به درون آب فرو می‌رفتند. وقتی که این نیم استوانه‌ها به پایین می‌رسید، طناب bm کشیده می‌شد و دو نیم استوانه را با یکدیگر جفت می‌کرد. سپس چنگک با طناب bm بالا می‌آمد و محتویات آن در سطح زمین بررسی می‌شد.



تصویر (۲) پمپ شش سیلندری که توسط تقی‌الدین (حدود ۱۵۵۲ م.) ابداع شد.