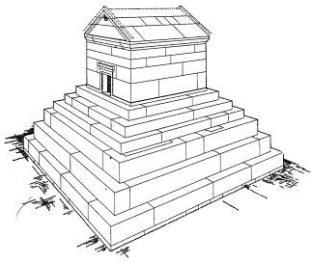

ظهور آهن

خداکرم مظاهری*

چکیده

بر کسی پوشیده نیست که عصر آهن در مطالعات باستان‌شناسی ایران جایگاه بس مهمی دارد. در این دوره شاهد ظهور تحولات چشمگیر فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی در فلات ایران می‌باشیم. در باستان‌شناسی ایران شاخصهای مهم فرهنگی این دوره به ویژه سفالگری، معماری و تدفین به صورت جامع و گسترده‌ای مورد مطالعه و پژوهش قرار گرفته است، لیکن در پژوهش‌های مربوط به این دوره ایران، اصولاً به فرایند فلزگری آهن در جزئیات پرداخته نشده است. از این نظر تاکنون هیچ نوع تحقیق فراگیر و مستقلی که در بر گیرنده جنبه‌های مختلف فلزگری آهن در دوره باستان باشد، انجام نگرفته است. این در حالی است که با استفاده از علوم مرتبط با صنعت فلزگری، می‌توان مسائل و ابهامات متعددی را در زمینه تحولات فرهنگی این دوره روشن نمود. نوشتار پیش‌رو قصد دارد نتایج تحقیقات و پژوهشهای انجام گرفته در مورد فلزگری آهن در دوره باستان را ارائه نماید.

کلیدواژگان: فلزکاری کهن، عصر آهن، آهن اسفنجی، آهن چکش‌خوار، فولاد.

* عضو هیئت علمی (مربی) گروه باستان‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام.

مقدمه

آهن از لحاظ کیفیت و کارآیی در زندگی روزمره و فراوانی مواد اولیه آن، مهمترین فلزی است که مورد استفاده بشر در دوره باستان قرار گرفت. اهمیت این ماده تا جایی است که اساس و شالوده دنیای صنعتی امروزی بر آن تکیه نموده است و زندگانی بشر بدون استفاده از آن محال بنظر می‌رسد، بطوریکه تا بحال جسمی پیدا نشده که بتواند به خوبی جانشین آهن و مشتقات مهمه آن گردد. علیرغم اهمیت بالای ظهور آهن در دوره باستان و تحولات عمیقی که به دنبال دارد، هنوز سئوالات مهم و متعددی در زمینه چگونگی ظهور آن وجود دارد.

چگونه می‌توان روابط فلزکاری عصر مفرغ و فلزکاری عصر آهن را تشریح نمود؟

با وجود آنکه آهن خالص در طبیعت بندرت یافت می‌شود (برخلاف مس و طلا که در طبیعت به صورت خالص نسبتاً فراوان یافت می‌شوند)، چگونه فلزگران کهن با فلز آهن آشنا شدند؟

چه عواملی زمینه‌های ظهور آهن را فراهم نمود؟

آیا ظهور آهن در فلات ایران نتیجه حضور اقوام جدید آشنا با فلزگری آهن می‌باشد، یا به بیان دیگر نشان دهنده تغییرات فرهنگی و یا به قول معروف پویایی فرهنگی است؛ یا نه ظهور آهن نشان دهنده پروسه پیشرفت و نوآوری فرهنگی فلزگری عصر مفرغ در فلات ایران و یا همان نشان دهنده استمرار فرهنگی است؟ برای رسیدن به پاسخ‌های منطقی برای سئوالاتی از این قبیل، بایستی در گام نخست تمام جنبه‌های گوناگون فلزگری آهن را شناخت.

منابع معدنی آهن

آهن در طبیعت به صورت ترکیب فراوان است و بیش از ٪۴ قشر خاکی زمین را تشکیل می‌دهد. از لحاظ فراوانی چهارمین عنصر طبیعت است و بصورت تقریباً خالص و بصورت آلیاژ[1] با نیکل و کبالت در سنگهای آسمانی پیدا می‌شود (مشایخی، ۱۳۴۳: ۱). در مجموع بیش از ۳۰۰ کانی[2] آهن در طبیعت یافت می‌شود (جعفرزاده، ۱۳۷۴: ۵). در جدول شماره ۱ مهمترین مواد اولیه آهن را که بر حسب وفور و اهمیت درجه‌بندی شده‌اند، نشان داده شده است.

اصلی‌ترین کانسارهای آهن، اکسیدها و کربنات آهن می‌باشد. ناخالصی‌های نامطلوب در کانسارهای آهن، آرسنیک، گوگرد و فسفر می‌باشد. آهن به صورت طبیعی (خالص)[3] هم در سنگهای آسمانی و هم در برخی مواد معدنی با منشأ زمینی یافت می‌شود. در مورد آهن بصورت طبیعی موجود در سنگهای شهابی[4]، بایستی گفته شود سنگهای شهابی توده‌هایی هستند که از خارج اتمسفر به طرف زمین سقوط نموده و بر سطح زمین واقع می‌گردند. سنگهای شهابی ممکن است کلاً از آهن و یا قسمتی از اولیوین و دیگر سیلیکاتها تشکیل شده باشد. آهن شهابی[5] اغلب با نیکل و مقادیر ناچیزی از کبالت، منگنز، قلع، کروم، گوگرد، کلر، مس و فسفر بصورت همراه یا آلیاژ می‌باشد. آهن طبیعی از منشأ زمینی در برخی نواحی نیز یافت شده است، یا به صورت دانه‌های پراکنده در بازالتها وجود دارد. همچنین به صورت دانه دانه در بعضی رسوبات پلیسر هم دیده می‌شود و یا توسط تغییر کانسارهای آهن رخ می‌دهد (رید، ۱۳۶۲: ۳۰۲-۳۰۱).

فلز آهن را ممکن است از بسیاری از کانی‌ها استخراج نمود، ولی استخراج این عنصر فقط از کانی‌های اکسیده

آن که از ۳۵٪ به بالا آهن دارند، مقرون به صرفه بوده و ارزش اقتصادی دارد (حایری، ج۱، ۱۳۲۷: ۱۰). در خیلی از نواحی جهان سنگهای معدنی آهن خیلی راحت‌تر از سنگهای معدنی مس به دست می‌آیند. در واقع سنگهای معدنی آهن در زمره عمومی‌ترین سنگهای معدنی روی زمین هستند. بسیاری از آنها خیلی نزدیک به سطح زمین واقع شده‌اند، بطوریکه به راحتی می‌توان به آنها دست یافت. سنگهای معدنی کم و بیش خالص برای آهن قابل استفاده، مورد نیاز نیست، زیرا سنگهای معدنی دارای حجم آهن بالا را می‌توان احیاء[۶] نمود. اکسید قرمز (هماتیت) و فرم هیدراته (لیمونیت) هر دوتا دارای درصد بالایی آهن می‌باشند و بعلت اینکه در داخل آنها سولفور و یا فسفر نیست، به سهولت می‌توان آهن را از آنها استخراج نمود. از کربنات آهن (از قبیل سیدریت و کالی بایت) نیز به آسانی می‌توان آهن را به دست آورد. برخلاف اکسیدها و کربنات آهن، کار کردن با سنگهای معدنی سولفوری آهن بسیار مشکل است بعلت اینکه هر سولفوری که در فلز باقی می‌ماند بر ویژگیهای کاربردی و نوع استفاده از آن فلز تأثیر می‌گذارد. بیشتر سنگهای معدنی آهن حاوی یکی از اکسیدهای آهن می‌باشند، اما با سیلیس، خاک رس یا حتی مواد آهکی نیز همراه می‌باشند. این سنگها معمولاً حاوی ۴۰-۳۰ درصد از مواد ناخالصی می‌باشند (Moorey, 1994: 280).

خواص شیمیایی و مکانیکی آهن

از لحاظ خواص مکانیکی این فلز فوق‌العاه قابل توجه است، چه با وجودیکه آهن خالصه فلزی نسبتاً نرم است، ولی برای آلیاژهای آن ممکن است با اعمالهای مختلفی که روی آنها انجام می‌گیرد، بار کششی بیشتری به دست آورد. آهن یک عیب بزرگ دارد و آن کمی مقاومت شیمیایی این فلز می‌باشد، مقاومت به زنگ زدن در هوا، مقاومت در برابر گازهای گرم و مقاومت در برابر عوامل شیمیایی. بطور کلی آهن و بسیاری از آلیاژهای آن در هوا، بخصوص هوای مرطوب زنگ می‌زنند و تشکیل اکسید ئیدراته آهن می‌دهند و زنگ زدگی بتدریج در جسم آهن نفوذ کرده و بالاخره باعث متلاشی شدنشان می‌گردد. همچنین در برابر عوامل شیمیایی بخصوص اسیدها، آهن و آلیاژهای آن مقاومتی ننموده و با آنها ترکیب می‌شوند (مشایخی، ۱۳۴۳: ۲-۱). آهن نسبت به دیگر فلزات تاریخی، حساسیت بیشتری نسبت به خوردگی دارد. در طی پیشرفت خوردگی، بتدریج در اثر فعل و انفعالات شیمیایی، فلز به نمک تبدیل می‌شود. البته محیطی که شیء فلزی در آن قرار می‌گیرد، نقش تعیین کننده‌ای در اینگونه آسیبها دارد. به همین علت می‌باشد که در حفاریهای باستان‌شناسی ندرتاً به اشیاء آهنی برمی‌خوریم که نسبتاً سالم مانده باشند. بعدها که بشر دریافت که می‌تواند با وارد کردن مقدار اندکی کربن در آهن، فولاد را بسازد، این نقیصه مهم در اشیاء آهنی تا حدودی از بین رفت (وطن‌دوست، ۱۳۶۹: ۷۳-۷۲).

روشهای شناخت آهن اولیه

در خصوص مراحل ابتدایی آشنایی فلزگران دوره باستان با فلز آهن، نظریات متفاوتی وجود دارد، نکته قابل توجه این است که همه دانشمندان معتقدند اولین توده‌های آهن مورد استفاده بشری به روشی غیر از آنچه معمول است، به دست آمده است؛ در واقع در دوره‌های اولیه توده‌های کوچک آهن را از طریق احیاء مستقیم سنگهای معدنی آهن، به دست نیاورده‌اند.

بطور کلی روشهای اولیه آشنایی فلزگران دوره باستان با آهن را می‌توان در سه دسته مورد مطالعه قرار داد.

الف) استفاده از سنگهای آسمانی

مدت زمان مدیدی است که چنین تصور می‌شود که انسان برای اولین بار جهت تهیه آهن، سنگهای آسمانی را مورد استفاده قرار داده است. آقای ورتایم نقل می‌کند که آهن آسمانی یا آهن خالص [۷] بوسیله مصریان در هزاره چهارم و ساکنان آناطولی در هزاره سوم و توسط چینی‌ها در هزاره اول پ.م. استفاده شده است (Wertime, 1973: 885). البته همه سنگهای شهابی دارای آهن را نمی‌توان به سهولت مورد استفاده قرار داد. فقط سیدراتها که حاوی آهن و نیکل هستند، تقریباً بطور کامل از آهن ساخته شده‌اند. سیدراتها یک ترکیبی از سنگ و فلز آهن می‌باشند که در داخل آنها نحوه قرارگیری ذرات آهن در بستر سنگی، شبیه دانه‌های کشمش در داخل کیک می‌باشد. با چکش‌کاری از طریق ابزارهای سنگی یا با استفاده از اسکنه‌های مسی، می‌توان تکه‌های کوچکی از آهن را جهت استفاده جدا نمود. با اینکه مدت زمان طولانی است که روش استفاده از آهن آسمانی در خاورمیانه باستان، مخصوصاً در مرحله شکل‌گیری فلزگری آهن، مسلم دانسته شده است، اما بسیار مشکل است تا آنچه را که در این زمینه فرض می‌شود، تشریح نمائیم. افزون بر این حالا که مشخص شده آهن اولیه ممکن است از طریق فرایند احیاء سنگهای معدنی مس استحصال شده باشد، برای قطعات ظاهراً زود هنگامی از آهن که تاکنون فرض می‌شد که تنها از طریق کار بر روی سنگهای آسمانی تولید شده‌اند، جواب دیگری را نیز می‌توان در نظر گرفت. در این زمینه در گذشته مطالعاتی بر روی مدارک زبان‌شناسی انجام گرفت که زمینه‌ساز شکل‌گیری نظریه استفاده از آهن آسمانی شد. بیشتر مدارک مکتوب که در زمینه آهن آسمانی در متون کهن بین‌النهرین، مصر و هیتی بدست آمده مربوط به مرحله بعد از ظهور آهن احیاء شده، چه از طریق فرایند احیاء سنگهای معدنی مس و سرب و چه از طریق احیاء سنگهای معدنی آهن، می‌باشد و دقیقاً مشخص نیست که آیا اصطلاحات بکار رفته در این زمینه، دارای مفهوم کلی هستند و بعلت ارزش بالای فلز آهن در مراحل اولیه، برای آن بکار رفته است و در واقع برای توده‌های کوچک آهنی حاصل فرایند احیاء سنگهای معدنی مس و سرب، استفاده شده‌اند؛ یا نه واقعاً جهت تکه‌های کوچک آهن خالص بدست آمده از سنگهای آسمانی بکار رفته‌اند (Moorey, 1994: 278-279).

ب) تکنیک استفاده از مواد گدازآور

هر ماده معدنی از یک یا چند عنصر فلزی که با عناصر غیر فلزی مانند اکسیژن، گوگرد، آرسنیک، سیلیسیم، کربن و غیره؛ به ترکیبات مختلف و متنوع شیمیایی درآمده، تشکیل شده است. قسمت غیر فلزی[۸] همیشه از مواد خاکی ترکیب یافته و در اصطلاح کانی‌شناسی به کانگ یا قشر کان معروف است. معمولاً قسمتی که محتوی عناصر فلزی و بهاءدار است، به مراتب کمتر از قسمت خاکی و بی‌بهاء است. پایه و اساس دانش‌گداز فلزات بر جدا کردن این دو قسمت از یکدیگر استوار گشته است. جهت جدا نمودن قسمت فلزی از قسمت خاکی، از مواد گدازآور[۹] استفاده می‌کنند. مواد گدازآور یا کمک ذوب موادی هستند که با مواد اولیه و سنگهای معدنی فلزی در کوره مخلوط شده و کمک به گداختن آنها می‌کنند و بعلاوه با قسمت خاکی یعنی کانگ، در آمیزش شیمیایی درآمده، تشکیل سرباره [۱۰] داده و قسمت فلزی پربهاء را از قسمت خاکی بی‌بهاء در کوره جدا و مجزا می‌سازند. امروزه مهمترین مواد گدازآوری که در استخراج فلزات صنعتی بغیر از آهن، بکار می‌روند عبارتند

از: اکسیدآهن، کربنات کلسیم، سنگ آهک و سیلیس (حایری، ج۱، ۱۳۲۷: ۲۲۷ و ۲۱۷).

اگر در فرایند احیاء سنگهای معدنی مس یا سرب، اکسید آهن در هر کدام از اشکال آن (هماتیت، لیمونیت و منیتیت) بصورت اتفاقی یا عمدی به خرج کوره اضافه شود، آهن با سیلیس درون سنگهای معدنی ترکیب می‌شود و سرباره را تشکیل می‌دهد که ذوب شده و آنرا از کوره خارج می‌کنند. در این حالت در شرایط با درجه حرارت بالا و اتمسفر مناسب، خرده‌های کوچکی از آهن نسبتاً خالص تولید می‌شود (Moorey, 1994: 279). پیشتر اشاره شد که سنگهای معدنی فلزات مختلف دارای ناخالصی‌های متنوعی هستند. در جریان فرایندهای احیاء و استخراج و ریخته‌گری[11] فلزات به واسطه ناخالصی‌های موجود در داخل سنگهای معدنی که آنها نیز تحت این فرایندها واقع می‌شدند؛ نتایج رضایت‌بخشی به دست آمد. سنگهای معدنی حاوی آهن مانند هماتیت به فرایند احیاء سنگهای معدنی مس کمک می‌نمودند، آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، قلع یا سرب بر خواص ریخته‌گری مس تأثیر می‌گذاشتند و در نتیجه تولید مس یا سرب، تولیدات فرعی[12] دیگری هر چند در مقیاس بسیار کم، مانند نقره، آهن، طلا یا روی نیز به دست می‌آمد.

بنابراین احتمالاً آهن یک نوع محصول فرعی نتیجه فرایند احیاء سنگهای معدنی هم مس و هم سرب بود، به علت اینکه سنگ معدنی هماتیت به صورت ماده گدازآور در فرایندهای احیاء سنگهای معدنی هر دو فلز استفاده شده است، این آهن تولید شده، یا در داخل سرباره‌ها و یا به صورت فلزی به دست می‌آمد (در این زمینه نمودار شماره ۱ ملاحظه گردد). احیاء سنگهای معدنی سرب با ماده گدازآور هماتیت و یا اکسید پیریت آهن که تقریباً در سنت فلزگری خاورمیانه باستان عمومیت داشته است، گاهی اوقات یک توده‌ای از آهن خمیر مانند را، به جای سرب برجای می‌گذاشت. این موضوع در شرایط استفاده از حرارت بالای ذغال چوب و ماده گدازآور آهنی به وجود می‌آمد. از سوی دیگر احیاء یکی از سولفیدهای مس با ماده گدازآور اکسید پیریت آهن، گهگاهی آهن خالص بر جای می‌گذاشت (Wertime, 1973: 875-885).

ج) استفاده از مواد معدنی ترکیبی

در بسیاری از نواحی معدن‌خیز جهان، مواد معدنی فلزات مختلف در ذخایر[13] زمین‌شناسی یکسانی و در کنار هم شکل گرفته‌اند. بطور مثال ذخایر مس، آهن و سرب، بخصوص مس و آهن عموماً در ایران، آناطولی و خیلی از نواحی دیگر جهان در کنار هم واقع شده‌اند. در این وضعیت، بعضی مواقع در حین عمل‌آوری مس یا سرب، گهگاهی مقادیری از اکسیدهای آهن که ذخایر آن در مجاورت معادن مس یا سرب بود، به صورت غیر عمدی در بار کوره‌ها جای می‌گرفت و در تحت شرایط خاص بعضی از مواقع تکه‌هایی از آهن به دست می‌آمد و یا همانطوریکه موری اشاره نموده‌اند، برخی از ذخایر مس که در خاورمیانه در دورهٔ باستان مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، بسیار متنوع می‌باشند. در داخل این ذخایر، حجم بزرگی از مس به صورت کالکوپیریت[14] (سولفید مس-آهن) وجود دارد. مطالعات اخیر نشان داده که از مس کالکوپیریت در ترکیب با اکسیدهای مس در یک مرحلهٔ احیاء می‌توان فلز مس تولید نمود و در تحت شرایط لازم برای این فرایند، گاهی اوقات آهن فلزی بصورت غیر عمدی تولید می‌شده است (Moorey, 1994: 280).

بنظر ورتایم مراحل اولیه احیاء سنگهای معدنی[15] در اغلب مواد به صورت عملیات تلخیص سنگهای معدنی

دارای یک فلز خاص نبود، بلکه غالباً سنگهای معدنی ترکیبی (یا سنگهای معدنی دارای چند فلز) که در مجاور هم واقع شده بودند، مورد استفاده قرار می‌گرفت. در این حالت چه بسا به صورت اتفاقی سنگهای معدنی یک فلز به عنوان مادهٔ گدازآور کمک به ذوب سنگهای معدنی فلز دیگر می‌نمود. این در حالی است که فلزگران هیچ اطلاعی از این موضوع نداشتند. برای فلزگران ابتدایی که پیشتر نسبت به فلزات خالص یا طبیعی شناخت پیدا نموده بودند و کمتر نسبت به معادن و کانی‌های فلزی اطراف خود تجربه داشتند، در مراحل اولیه واژه‌های فلز و ناخالصی‌های فلزی نامفهوم بود، اصطلاحات گیج‌کننده‌ای که برای فلزات اولیه در اسناد مکتوب کهن بکار رفته، این موضوع را تأئید می‌کند. تصادفی نیست که در هزاره‌های چهارم و پنجم پ.م. شواهدی از ذوب[۱۶] مس و سرب و تولید لعابهای فلزی از جنوب غربی آسیا به دست آمده است. اقوام آناطولی و مدیترانه شرقی با چنین پشتوانه‌ی فنی در حدود ۲۰۰۰ پ.م. به تولید انبوه مس از کانیهای سولفیدی پرداخته و بتدریج اسرار شیمیایی و فیزیکی آهنگری را آموختند. در این زمینه بایستی اشاره شود که مس عموماً به صورت سنگهای سولفیدی یافت می‌شود و سنگهای معدنی سولفیدی مس بیشتر در بسترهایی که اکسیدهای آبدار آهن وجود دارد، انتشار می‌یابند (Wertime, 1973: 875-882).

از نظر تکنولوژی مسأله ظهور آهن یک موضوع نسبتاً ساده است، زیرا از یک طرف سنگهای معدنی متنوع مس، دارای مقادیر مهمی آهن هستند، از سوی دیگر سنگهای معدنی مس و آهن غالباً به همراه هم و در ذخایر زمین-شناسی یکسانی واقع شده‌اند. افزون بر این اکسیدهای آهن در اشکال متنوع آن، عنصر گدازآور اولیه‌ای در فرایندهای احیاء مس و ساخت مفرغ بود. در نتیجه آهن فلزی بعضی مواقع به صورت قسمتی از تولیدات فرعی کوره‌های مسگری، شکل می‌گرفت. از این‌رو بنظر می‌رسد که فلزگران دوره‌ی باستان، مدتها قبل از اینکه عمداً شروع به تولید آهن از طریق احیاء سنگهای معدنی آن بنمایند، با خصوصیات اساسی تولیدات فرعی حاصل بارکوره‌های احیاء مس آشنا شده‌اند (Piggot, 1982: 21-22). از آنجایی که هر «نوآوری» در ابتدا به صورت اتفاقی شکل می‌گیرد، از این‌رو ظهور آهن به صورت توده‌های کوچک فلزی که جزء تولیدات فرعی بارکوره‌های تولید مس یا سرب بود، معقول‌تر بنظر می‌رسد، تا اینکه ظهور اولیه آنرا از طریق استفادهٔ عمدی از توده‌های سنگهای آسمانی، در نظر بگیریم.

می‌توان گفت که پیشرفت تکنولوژی فلزکاری عصر مفرغ مخصوصاً در مناطقی که سنگهای معدنی آهن در درون شبکه گسترده سنگهای معدنی موجود مس، قرار داشت و به راحتی قابل دسترسی بود (به واسطهٔ فرایند احیاء سنگهای معدنی) موجب ظهور دانش آهن شد. در تأئید این موضوع می‌توان به دو نکته اشاره نمود:

۱-) استفاده از آهن در مراحل اولیه ظهور این فلز برای تزئین اشیاء مفرغی.

۲-) ساخت اشیاء دو فلزی[۱۷] بطوری که یک قسمت شیء از جنس مفرغ و قسمت دیگر از جنس آهن بود، در مراحل آغاز تولید گستردهٔ آهن (Moorey, 1982: 92-94).

احیاء سنگهای معدنی آهن

در مطالعات فلزگری معمولاً دو واژه‌ی «احیاء» و «ذوب» بهمراه هم بکار می روند. احیاء یعنی حرارت دادن کانی‌های معدنی و جدا نمودن ناخالصی‌ها و مواد زائد از آنهاست. نتیجه‌ی این فرایند توده‌ای خمیر مانند از فلز

بدست می‌آید. لیکن در فرایند ذوب، همان توده‌یی خمیر مانند که حاصل عملیات احیاء است، به صورت مذاب در می‌آید و برای ریخته‌گری آماده می‌شود. در مورد آهن بایستی اشاره شود که در دوره‌ی مورد نظر ما حداقل تاکنون مدارک مطمئن به دست نیامده که نشان دهد در عصر آهن (۱۵۰۰-۵۵۰ پ.م.) در ایران و یا در جنوب غربی آسیا، آهن ذوب می‌شده است.

با وجودیکه نمی‌توان تأثیرات صنایع فلزکاری پیشین را در تکنولوژی تولید آهن نادیده گرفت، با این حال بایستی اشاره شود که تولید آهن مورد استفاده در دورهٔ باستان از جنبه‌های مختلف مانند مواد اولیه مورد نیاز، سوخت و محصولات به دست آمده، تفاوتهای اساسی با فرایند احیاء سایر فلزات در آن دوره داشته است. برای تهیه مس یا سرب آنچه را که نیاز است ترکیبی از سنگهای معدنی سولفیدی و اکسیدی (که معمولاً به همراه هم یافت می‌شوند) و حرارت می‌باشند. سوخت مورد استفاده ممکن است که یک منبع ساده حرارت باشد و نیازی نیست که وارد فعل و انفعالات شیمیایی شود یعنی می‌توان از طریق استفادهٔ از حرارت به تنهایی به علاوه ترکیبی از سنگهای سولفیدی و اکسیدی مس یا سرب، فلز مورد نیاز را به دست آورد. در فرایند احیاء آهن، موضوع کاملاً متفاوت است هیچ مقداری از حرارت به تنهایی نمی‌تواند ترکیبی از اکسید آهن و سولفید آنرا به فلز قابل استفاده مبدل کند. هنگامی که در طبیعت سنگهای سولفیدی آهن به سنگهای اکسیدی آن تغییر می‌یابند. معمولاً فعل و انفعالات شیمیایی خاتمه می‌یابد، بعلاوه در طبیعت ترکیب طبیعی از سنگهای سولفیدی و اکسیدی آهن، نسبت به مس و سرب بسیار کمتر عمومیت دارد. از طرف دیگر سولفید آهن در داخل فلز به سهولت قابل حل است و آنقدر آنرا شکننده می‌سازد که به این طریق آهن قابل استفاده را نمی‌توانیم تولید نمائیم. برای تولید آهن قابل استفاده فلزگر می‌بایستی تنها سنگهای اکسیدی آهن را به همراه هم حرارت و هم کربن به کار گیرد (Read, 1934: 384).

عمل مهمی که به هنگام احیاء سنگهای معدنی اکسیدی آهن باید صورت بگیرد، استفاده از کربن برای احیاء سنگهای معدنی است. فلز آهن به آسانی با اکسیژن در آمیزش درآمده و تولید هماتیت و منیتیت می‌کند که انواع طبیعی آنها در قشر زمین یافت می‌شوند و از مهمترین مواد اولیه آهن به شمار می‌روند. علاوه بر این گاهی اوقات سنگ معدنی آهن در حالت کربنات (مانند سیدریت) می‌باشد که پس از تکلیس و دادن گرمای کم، اسید کربنیک آن آزاد شده و کربنات آهن، مبدل به اکسید آهن می‌گردد. بنابراین برای به دست آوردن آهن فلزی باید مواد اولیه و معدنی آهن را بوسیله عواملی احیاء نمود و اکسیژن آنها را از بین برد (حایری، ج۲، ۱۳۲۷: ۲۴۰-۲۳۹).

احتراق یک فرایند اکسیداسیون[۱۸] است، یعنی اکسیژن می‌بایستی با کربن، هیدروژن و هیدروکربناتها ترکیب شود. این مواد خود باعث ایجاد همه سوختها و موجب سوزش سوختها می‌شوند. در خیلی از فرایندهای پیرامون آتش از قبیل سفالگری و فلزگری، اتمسفری که در آن احتراق صورت می‌گیرد بحرانی و غیر قابل کنترل است. در این زمینه صحبت از دو کرانه می‌شود:

۱- اتمسفر احیاء یا تلخیص کننده

۲- اتمسفر اکسیداسیون

هنگامی صحبت از اتمسفر تلخیص کننده می‌شود، منظور این است که برای ایجاد احتراق کامل، اکسیژن ناکافی است. در مقابل هنگامی از اتمسفر اکسیداسیون صحبت می‌شود که نقشهٔ بکار رفته در یک کوره به اندازه‌ای بزرگ است که هوای بیشتری را تهیه می‌کند، یعنی

بیشتر از آنچه را که برای سوزش سوخت نیاز است. در اتسمفر اکسیداسیون اکسیژن اضافی با هر مادهٔ مناسب دیگری که در مجاورش باشد ترکیب می‌شود به طور مثال با سنگهای سولفیدی مس ترکیب شده و موجب احیاء آنها می‌شود. این اکسیژن اضافی در فرایند احیاء سنگهای آهن، موجب اکسیداسیون دوبارهٔ توده‌های آهن اسفنجی[۱۹] می‌شود و در نتیجه از احیاء سنگهای اکسیدی آهن جلوگیری می‌کند.

برای خارج نمودن و یا جلوگیری از ورود اکسیژن اضافی یک روش این است که از طریق احاطه کردن کوره با یک دیوار که دور تا دور آن کشیده می‌شود و یا با مسدود نمودن سوراخهای کوره، می‌توان یک اتمسفر تلخیص کننده را تولید نمود، اما این نقشه بعلت اینکه درجه حرارت کوره را در بیشتر مواقع پائین‌تر از درجه حرارت مورد نیاز برای احیاء نگه می‌دارد، به احتمال زیاد کارآیی زیادی نداشته است. برای از بین بردن اکسیژن اضافی، بجای احاطه کردن دیواره‌ی کوره، می‌توان از یک سوخت تلخیص کننده استفاده نمود. برخلاف چوب، ذغال چوب یک سوخت تلخیص کننده می‌باشد و بیشتر آن از کربن خالص تشکیل شده است و سایر عناصر در فرایند ذغال شدن سوزانده می‌شوند. ذغال چوب به هنگامی که می‌سوزد مقادیری از گاز مونواکسید کربن تولید می‌کند و یک محیط بدون اکسیژن را بوجود می‌آورد (Horne, 1982: 7-9).

در فرایند احیاء سنگهای معدنی آهن بایستی مقدار کافی افزودنیهای کربن‌دار (ذغال چوب) وجود داشته باشد تا در جریان فرایند احیاء به مونواکسید کربن[۲۰] بسوزد. اگر در جریان احیاء نسبت دی اکسیدکربن یا گاز کربنیک[۲۱] به مونواکسید کربن بالا رود (اندازهٔ آن نسبت با توجه به مقدار گرما، متنوع می‌باشد)، آهن دوباره با اکسیژن[۲۲] ترکیب می‌شود. فلزگران دوره‌ی باستان هرگز این قاعده‌ی کربن در تولید آهن را نمی‌دانستند آنها فقط تجربه نموده بودند که اگر اعمالی را به یک روش منظم و مشخص انجام دهند نتیجهٔ دلخواه را به دست خواهند آورد. چه بسا کوشش‌های فراوان فلزگران اولیه جهت تهیه فلز از اکسید آهن بعلت وجود نقص به نتیجه نمی‌رسید تا اینکه به طور تجربی کشف نمودند که باید مقدار کافی از افزودنیهای کربن‌دار تهیه شود تا مقدار دی اکسیدکربن نسبت به مونواکسیدکربن تا نقطه‌ای پائین نگه داشته شود که احیاء اکسید آهن به آهن فلزی صورت بگیرد (Read, 1934: 384). همانطوریکه اشاره شد ذغال چوب تقریباً از کربن خالص و آهن در اغلب کانه‌های مهم خود به صورت اکسید پیش می‌آید.

در اثر احتراق، کربن با اکسیژن هوا و یا هوا، موجب ایجاد مونواکسیدکربن، گاز کربنیک و یا ترکیبی از این دو گاز می‌شود و حرارت نیز تولید می‌شود. گاز کربنیک خود در تماس با کربن در درجه حرارت بالا، سوخته و به مونواکسید کربن تبدیل می‌شود. سنگهای آهن منجمله آنهایی که هماتیت و یا ماگنتیت دارند. در صورت تماس با مونواکسیدکربن در دمای نسبتاً بالا، احیاء و آهن فلزی تولید می‌شود. در اینجاست که اهمیت استفاده از سوخت ذغال چوب مشخص می‌شود. ذغال چوب در فرایند تولید آهن اسفنجی در این نوع کوره‌ها، بعنوان عامل تأمین کننده‌ی گرما، عامل احیاء کننده‌ی کانه‌های آهن و نیز وسیله‌ی حفظ آهن اسفنجی از اکسایش در مجاورت هوا، بکار می‌رفته است. ضمناً در این فرایند مقداری از کربن ذغال نیز در آهن اسفنجی در حالت جامد، حل می‌شده است (توحیدی، ۱۳۶۴: ۹۹-۹۶).

بنابراین احیاء سنگهای معدنی آهن به توده‌های جامد آهن فلزی تنها به هنگام نبود گازکربنیک یا دی-

اکسیدکربن در داخل کوره، انجام می‌گرفت. ذوب اینگونه توده‌های جامد آهنی درجه حرارتی در حدود ۱۵۳۰ درجه سانتیگراد نیاز دارد، یعنی در واقع ۵۰۰ درجه سانتیگراد بیشتر از نقطه ذوب[۲۳] مس و طلا؛ این میزان حرارت را فلزگران اولیه حتی با کمک جریانات هوا نمی‌توانستند تولید کنند و در نتیجه موفق به ذوب آهن نمی‌شدند و فقط می‌توانستند آن را احیاء نمایند (Read, 1934: 384).

اصول اساسی احیاء اکسیدهای آهن بوسیله کربن بعنوان ماده احیاء کننده و گرمازا از ابتدا تاکنون تغییر نکرده است.

تغییرات عمده در گسترش ابعاد تأسیساتی، افزایش بازده واکنش‌ها، استفاده‌ی مناسب‌تر از از مواد اولیه مورد نیاز و شناخت دقیق‌تر اصول نظری احیاء، ذوب و پالایش آهن و فولاد بوده‌اند. بطور کلی به سه طریق می‌توان سنگ آهن را احیاء و آهن را از ناخالصی‌ها جدا نمود:

۱- احیاء سنگ آهن و جدا کردن ناخالصی‌های آهن در حالت جامد. ۲- احیاء سنگ آهن در حالت جامد و جدا کردن ناخالصی‌های همراه آن به صورت مذاب. ۳- احیاء و ذوب همزمان سنگ آهن و ناخالصی‌های همراه آن.

روشهای احیاء سنگ آهن و جدا نمودن ناخالصی‌ها از آن، در نمودار شماره ۲ نشان داده شده است.

در دوره‌ی باستان تولید آهن از طریق احیاء سنگ آن و تولید آهن اسفنجی در حالت جامد و در حرارتی خیلی پائین‌تر از درجه حرارت ذوب آهن خالص، امکان‌پذیر بوده است (توحیدی، ۱۳۶۴: ۹۶).

قدمت ذغال چوب بعنوان یک محصول فرعی حاصل از احتراق به قدمت خود آتش می‌رسد. خواصی مانند نداشتن دود و داشتن حرارت بالا نسبت به چوب آنرا به صورت یک سوخت عالی درآورده بود. ناخالصی عمده در داخل ذغال چوب، خاکستر می‌باشد که اتفاقاً خواصی کمک ذوبی یا همان گدازآوری دارد و یک ناخالصی مطلوب در فرایند فلزگری می‌باشد. منفعت مهمتر در استفادهٔ از ذغال چوب یک منفعت اقتصادی در فرایند احیاء سنگهای معدنی آهن می‌باشد بدین ترتیب که براساس مدارک تاریخی اروپا نسبت ذغال چوب مورد استفاده در فرایند احیاء سنگهای معدنی اکسیدی مس بیست به یک و براساس آزمایشات انجام گرفته به وسیله تیله کوت[۲۴] چهل به یک است؛ یعنی اگر تخمین بیست به یک را برای نسبت ذغال چوب به مس بپذیریم برای احیاء پنج کیلوگرم از سنگهای معدنی اکسیدی مس، می‌بایستی یکصد کیلوگرم ذغال چوب مصرف شود. این در حالی است که ذغال چوب بسیار کمتری برای به دست آوردن آهن مورد نیاز است. مطالعات و گزارشهای قوم‌نگاری نشان می‌دهد که جهت تولید هر یک کیلوگرم از آهن هم در فرایند احیاء آن از سنگهای معدنی و هم در مرحلهٔ بر سندان کوبیدن[۲۵]، به بیشتر از ده کیلوگرم ذغال چوب نیاز نیست. دلایل این اختلاف حجم ذغال چوب مورد استفاده، در تکنولوژیهای تولیدی دو فلز مس و آهن نهفته است. علیرغم اینکه آهن نسبت به مس، درجه حرارت بالاتری برای رسیدن به نقطه ذوب نیاز دارد و اتمسفر کوره نیز باید نسبتاً تصفیه شده باشد، با وجود این همانطوریکه پیشتر نیز اشاره شد معلوم شده که آهن در درجه حرارتی پائین‌تر از درجه حرارت ذوب آن احیاء می‌شود افزون بر این برخلاف سربارهٔ آهن، سربارهٔ مس در جریان دایر بودن فرایند احیاء باید ذوب شده باقی بماند تا مس مذاب از میان سرباره‌ها عبور نموده و در ته کوره نشست کند. در نتیجه در طی مراحل استخراج مس سوخت ذغال چوب بسیار بیشتری نسبت به آهن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بنابراین سوخت مورد نیاز برای تولید آهن هم موجب تخریب کمتر محیط زیست می‌گردد و هم حجم کمتر سوخت مورد نیاز راحت‌تر تهیه می‌شود. ذغال سنگ نیز تولید کنندهٔ یک سوخت حاوی کربن است و عملکردی مشابه زغال چوب دارد لیکن علاوه بر فعالیت سخت مورد نیاز در فرایند معدنکاری ذغال سنگ و در بسیاری از موارد فاصله زیاد مورد نیاز جهت حمل و نقل آن؛ ذغال سنگ حاوی یکسری از ناخالصی‌ها می‌باشد که به فلزات خسارت وارد می‌کند. هر چند که در دورهٔ باستان کلاسیک گاهگاهی ذغال سنگ مورد استفاده واقع شده است، در هیچ منطقه‌ای آنرا بعنوان یک سوخت صنعتی مهم جایگزین ذغال چوب ننموده‌اند. از قرن ۱۷ میلادی که راهکارهایی جهت جدا نمودن ناخالصی‌های مضر آن کشف شد، مشاهده می‌شود که ذغال سنگ بطور اصولی مورد استفاده قرار گرفت (Horne, 1982: 6-12).

برای تهیه آهن اسفنجی که محصول احیاء سنگهای معدنی آهن می‌باشد، ذغال چوب را به همراه تکه‌های کلفتی از کانی‌های معدنی آهن در داخل کوره می‌چیدند. در مراحل اولیه این کوره‌ها از حفره‌های کاسه‌ای شکل که در دل زمین حفر می‌شد، شکل می‌گرفتند. جریان هوا از طریق دم‌هایی به داخل کوره‌ها هدایت می‌شد تا درجه حرارت را بالا ببرند. یک طرف دم به خارج از کوره و سمت دیگر آن به داخل کوره و به سوی ته کوره منتهی می‌شد. با این کار برای خرجی که در ته کوره قرار داشت، بادخور قرار می‌دادند (Moorey, 1994: 280-282).

فلزکاری انواع آهن

روش کار احیاء و فلزکاری آهن پیچیده‌تر از احیاء و فلزگری سایر فلزاتی است که بطور منظم در دورهٔ باستان مورد استفاده قرار گرفته است. در کار با آهن با مواد تقریباً متفاوتی با عناوین آهن چکش‌خوار[۲۶]، فولاد[۲۷] و آهن ریخته‌گری شده سر و کار داریم. این مواد هر کدام دارای کاربردهای خاصی می‌باشند (Moorey, 1994: 278). افزون بر این اگر از بعد سیر تحول تکاملی و بعد زمانی به موضوع تولید آهن بپردازیم، در می‌یابیم که مواد سه گانه فوق از یک زمان مشخص و به همراه هم از آغاز ظهور آهن تولید نمی‌شده‌اند، بطور مثال شاید بتوان گفت که نمونه‌هایی از اشیاء فولادی در برخی محوطه‌های با قدمت نیمه دوم هزاره‌ی دوم پ.م. به دست آمده است، لیکن تولید انبوه و گسترده و عمدی اشیاء فولادی از قرون ۷ و ۸ پ.م. آغاز می‌شود و یا قدیمی‌ترین مدارکی که تاکنون در مورد آهن ریخته‌گری یا آهن مذاب به دست آمده، متعلق به ۲۰۰ پ.م. است. بنابراین هم از بعد کیفی و هم از بعد سیر پیشرفت تکنولوژی آهن، می‌توان فلزکاری آهن را در سه مرحلهٔ مجزا یا در سه قسمت مطالعه نمود.

الف) آهن چکش‌خوار

بعد از احیاء سنگهای معدنی مس، محصول بدست آمده را باید دوباره حرارت داد که درجه حرارتی در حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد نیاز دارد، در نتیجه فلز ذوب شده و ریخته‌گری می‌شود. بعد از خنک شدن فلز ریخته-گری یا قالب‌ریزی شده، ممکن است آنرا سوهان بزنند و یا چکشکاری سرد [۲۸] بر روی آن انجام شود برای اینکه هم آنرا ظریف نمایند و هم لبه‌های خشن آنرا از بین برده و آنرا سخت کنند. برخلاف مس، فرایند تولید آهن یک فرایند دوپله‌ای است. همانطوریکه پیشتر اشاره شد آهن در درجه حرارتهای قابل دسترسی در داخل این قبیل کوره-های اولیه ذوب نمی‌شد و نتیجهٔ احیاء سنگهای معدنی آهن، یک شمش فلزی نیست بلکه در اینجا یک توده غلیظ اسفنجی از آهن، سرباره و ذغال چوب بدست می-آید (Horne, 1982: 8-9).

از آنجایی که عامل احیاء کننده ذغال و مواد کربن‌دار است، آهن در حرارت بالا نه تنها از اکسید جدا شده و آزاد می‌گردد، بلکه مقدار کمی ذغال در خود حل می‌کند و در آن حرارت اکسیدهای عناصر دیگر که در سنگ معدنی آهن موجودند نیز به ترتیب احیاء گشته و به شکل ناخالصی به داخل آهن گداخته می‌روند (حایری، ج۲، ۱۳۲۷: ۲۴۰).

در نتیجه محصول مستقیم فرایند احیاء سنگهای معدنی آهن، توده خمیری شکل[۲۹] و یا توده اسفنج مانندی است که به صورت جامد می‌باشد. این ماده حاوی مقادیر زیادی سرباره است که باید از طریق حرارت دادن و چکش‌کاری منظم و مستمر سرباره‌ها را از آن جدا نمود. توزیع کربن در این فلز معمولاً پائین و نامتجانس است (Piggot, 1989: 77). برای جابجا نمودن این توده آهن اسفنجی باید کوره را خاموش نمود و سپس بر روی یک سندان عملیات چکش‌کاری بر روی آن توده آهن اسفنجی انجام شود تا بدین طریق سرباره و ذغال چوب محبوس در آن از آن جدا گردد. در اینجا قبل از اینکه توده‌ی آهن آماده شود تا در شکل نهایی خود مورد استفاده قرار بگیرد، ممکن است برای عملیات بر سندان کوبیدن، چندین بار حرارت دادن با ذغال چوب در درجه حرارتی در حدود ۸۰۰ درجه سانتیگراد مورد نیاز باشد (Horne, 1982: 8-9).

توده‌ی آهن اسفنجی در معرض هوا و آب به سرعت به اکسید مبدل می‌شد. فلزگران دوره‌ی باستان بتدریج دریافتند که با عملیات چکش کاری می‌توان آن توده را به صورت یک جسم جامد درآورد. اما در حین این فعالیتها می‌بایستی مدت زمان طولانی صرف شده باشد تا تکنیک لازم در جهت تولید قطعات قابل استفاده‌ی آهن اسفنجی از طریق جوش دادن آنها بهم، توسعه یابد. بدین طریق با کمک حرارت و چکش کاری آهن اسفنجی، قطعات کوچک این ماده را بهم جوش زده و به یک توده‌ی قابل استفاده تبدیل می‌کردند (Read, 1934: 384-385). اگر تعبیر ماکسول هیسلوپ[۳۰] از مدارک زبان‌شناسی درست باشد متون بدست آمده از کاروم کانیش[۳۱] یا همان کول تپه در آناطولی در حدود آغاز هزارهٔ دوم پ.م. بطور صریح از آهن خمیری شکل نام برده‌اند (Moorey, 1994: 280).

محصول فرایند چکش‌کاری و حرارت‌دهی منظم و مکرر توده‌های آهن اسفنجی بعد از جدا نمودن ناخالصی‌های آن، به آهن پرداخته یا آهن چکش‌خوار معروف است. این محصول به رنگ خاکستری سفید، سفت و چکش‌خوار است. معمولاً دارای یک ساختار بافت‌دار و نقطهٔ ذوب ۱۵۱۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. حداکثر میزان کربن آن از چند دهم درصد تجاوز نمی‌کند. واژه‌ی آهن چکش‌خوار عموماً برای آهن دارای کربن پایین که بعد از فرایند احیاء، توسط آهنگر عملیات برسندان کوبیدن بر روی آن انجام گرفته، بکار می‌رود (Piggot, 1989: 77). هنگامی که قطعات آهن چکش‌خوار گرم هستند، به راحتی می‌توان آنها را از طریق چکش کاری به هم جوش داد، از طرفی دیگر در همین حالتی که فلز گرم است، به اندازه‌ی کافی نرم می‌شود و به راحتی شکل‌پذیر است و از طریق حرارت دادن و خنک نمودن می‌توان استحکام بالایی به آن داد (Moorey, 1994: 283-285). بخاطر حجم کم مقدار کربن آهن چکش‌خوار، گاهگاهی از آن بعنوان آهن خالص نیز نام می‌برند. این ماده به دلیل درجه بالای خم شدگی و نرمی آن، دارای ارزش کاربردی کمی بود (Read, 1934: 386). آهن چکش‌خوار دارای کربن پائین، اصولاً امتیاز برجسته‌

ی مهمی نسبت به همتای خود که از مواد بر پایه مس ساخته می‌شد، نداشت (Piggot, 1982: 23).

مدارک باستان‌شناسی حاکی از این امر است که به دلیل خواص مهمتر بهترین مفرغ‌های همزمان که دارای مقادیر قلع ۱۲-۱۰ درصد بوده و با چکشکاری سرد استحکام یافته بودند، نسبت به اشیاء آهنی اوایل عصر آهن، فلزگران در مقیاس محدود به تولید اشیاء آهنی می‌پرداختند (Piggot, 1989: 67). بتدریج با توسعه صنعت فلزگری و پیشرفت تکنولوژی آهنگری، تولید و استفاده‌ی از آهن بعنوان یک ماده سودمند و منفعت‌آور مورد توجه قرار گرفت. در مراحل اولیه این فلز نقش مهمی را بعنوان یک ماده تزئینی ایفاء نموده است بطوریکه از طریق تکنیکهایی مانند چکشکاری سرد آنرا برای مقاصد تزئینی مانند تزئین اشیاء مفرغی بکار برده‌اند. به گفته موری در ارتباط با تولیدات آهنی متعلق به دوره‌ی زمانی ۱۴۰۰-۱۰۰۰ پ.م. و قبل از آن، با احتیاط‌ترین نظریه این است که برای آنها عناوین «آهن» یا «آهن چکش‌خوار» را بکار ببریم مگر اینکه از طریق مطالعات آنالیزی خلاف این ثابت شود (Moorey,1994: 278 and 283).

ب) فولاد

از آنجا که روند حیات بشری براساس پیشرفت، توسعه و تکامل شکل گرفته است، در هر زمان و هر موقعیتی که بنا به دلایلی اجتماع انسانی از این روند اصلی زندگی خود خارج شده است، بجز عقب ماندگی هیچ چیز عاید نشده است. در ارتباط کار با آهن و ساخت اشیاء مورد نیاز از آهن چکش‌خوار، بی‌شک برای فلزگران دوره‌ی باستان خواصی مانند قابلیت خم شدن و نداشتن سختی کافی جهت ساخت ابزارهای برنده، همواره مشکلاتی را به همراه داشته است. از این‌رو فلزگران تمام کوشش خود را در جریان عملیات آهنگری بکار بسته تا قادر شوند محصولی با کیفیت بهتر بدست آورند تا اینکه بتدریج با گذشت زمان تجربه نمودند که با بکارگیری یکسری اعمال منسجم و هماهنگ می‌توان اشیاء آهنی با کیفیت بهتری ساخت و تا جایی پیشرفت نمودند که توانستند اشیاء آهنی بسیار خوبی تهیه نمایند که از هر لحاظی بهتر از بهترین مفرغهای همزمان خود بودند. در ادامه‌ی نوشتار بنا بر اهمیت موضوع تهیه فولاد در دوره‌ی باستان، این مبحث را در دو قسمت مورد تحلیل قرار می‌دهیم: ۱-) خواص فولاد ۲-) روشهای تهیه فولاد

۱) خواص فولاد

بنابر تعریف آقای پیگوت فولاد نوعی آهن می‌باشد که با اتمهای کربن ترکیب شده است. از طریق فرایند ترکیب ساختن اتمهای کربن با آهن[۳۲]، خواص فیزیکی آهن تغییر می‌یابد و تبدیل به یک آلیاژ می‌شود و غالباً محلول جامدی است که بی‌نهایت سخت، سفت و محکم می‌باشد. فولاد بجز در ظاهر و غلظت، در سایر خواص کاملاً متفاوت با آهن است. برخلاف آهن چکش‌خوار، می‌توان با فولاد لبه‌ی تیزی را تهیه نمود که بسیار محکم باشد، لیکن کار کردن با فولاد مشکل است. فولاد می‌تواند با توجه به کنترل درجه حرارت و سرعت خنک شدنش در حین عمل‌آوری، درجات متفاوتی از سختی، شکنندگی و استحکام را به خود بگیرد (Piggot, 1982: 77).

مهمترین مشخصه‌های فولاد ترکیب شدن با کربن، سختی، شکنندگی[۳۳] و استحکام بالای آن است. سختی، شکنندگی و استحکام فولاد، خود نتیجهٔ و محصول فرایند کربونیزاسیون می‌باشد یعنی در واقع در اثر ترکیب شدن کربن با آهن است که این مشخصه‌ها در آهن ظاهر می-

شود. اشیاء فولادی در حدود ٪۱/۵ - ٪۰/۵ کربن دارند. اصل مهم در تهیه فولاد جذب کربن به مقدار کافی در آن می‌باشد. فرایند کربونیزاسیون هم در جریان احیاء سنگهای معدنی آهن و هم در جریان جذب کربن در درون توده-های آهنی و تبدیل آنها به فولاد، نقش اساسی را ایفاء می-کند. در جریان کار با آهن، در هر موقعیتی که مقدار ٪۱/۵- ٪۰/۵ کربن جذب توده‌ها یا اشیاء آهنی شود، آنها را مبدل به فولاد می‌کند. این عمل ممکن بود در شرایط خاصی، در هر مرحلهٔ کار با آهن ایجاد شده باشد.

درست است که بتدریج فلزگران مجرب و کارآزموده با تکرار یکسری اعمال خاص مانند آب دادن[۳۴] و سخت کردن آهن، روشهایی را برای سخت نمودن آهن و ساخت اشیاء فولادی آموختند که در جریان این روشها بدون اینکه آگاهی داشته باشند، فرایند جذب کربن در داخل اشیاء آهنی صورت می‌پذیرفت، با اینحال در بعضی مواقع آهن سخت یا همان فولاد که دارای مقدار لازم کربن بود، تولید می‌شد بدون اینکه فلزگران نسبت به چگونگی تولید سختی آن آگاهی داشته باشند. براساس آزمایشهایی که پلینر[۳۵] انجام داده است اگر در هنگام احیاء سنگهای معدنی آهن، عواملی از قبیل نسبت جریان هوا برای کوره، نسبت سوخت و سنگهای معدنی به خوبی کنترل شده باشد در این فرایند علاوه بر احیاء سنگهای معدنی و تولید آهن اسفنجی، امکان تولید مقادیری فولاد نیز وجود داشته است. یعنی اگر عمل احیاء دقیق انجام بگیرد، ممکن است بصورت تصادفی شرایطی برای تولید فولاد فراهم شود؛ بدین ترتیب که قسمتهایی از توده‌ی آهنی که در مقابل اکسیداسیون مستقیم جریان هوای دهانه‌ی دم محافظت می‌گردد یا دورتر قرار دارد، می‌تواند به مقدار کافی میزان کربن آن افزایش یابد و به فولاد واقعی تبدیل شود، در حالیکه آن قسمتهایی از توده‌ی آهن که مستقیماً به طرف دهانه دم واقع شده به صورت آهن چکش‌خوار با کربن پائین باقی می‌ماند (Moorey, 1994: 278 and 282). بنظر نمی‌رسد که فلزگران دورهٔ باستان در مرحله‌ی قبل از ریخته‌گری آهن به چگونگی تولید فولاد بدین روش یعنی تولید فولاد در جریان فرایند احیاء، شناخت یافته باشند و از این روش برای تولید آهن سخت استفاده نموده باشند. اولین اقوامی که یاد گرفتند چگونه آهن دارای حجم کربن پائین یا آهن چکش‌خوار را به اندازه کافی سخت و سفت نمایند و از آن در ساخت چاقوها و شمشیرها استفاده نمودند، هیتی‌ها می‌باشند. در واقع آنها نمی‌دانستند که این نتیجه را از طریق در معرض قرار دادن فلز آهن در مقابل تأثیر به اندازه کافی مونواکسید کربن بدست آورده‌اند. بطوریکه از طریق این فرایند نه تنها توانستد اکسید آهن را به فلز تبدیل کنند بلکه همچنین موجبات جذب کربن در داخل فلز آهن را فراهم نمودند و فلز آهن به آلیاژ کربن- آهن یا همان فولاد تبدیل شد. فلزگران تجربه نموده بودند که اگر روشهای خاصی را بکار ببرند یکنوع محصول بدست می‌آید که از خیلی جهات نسبت به تولیدات آهنی قبلی بهتر بود. تاریخ تولید آهن، داستان کوشش مداوم فلزگران برای به دست آوردن یک کنترل واقعی بر روی حجم کربن آهن است، بدون اینکه آگاهی داشته باشند که آن آهن حاوی هر گونه کربنی است یا اینکه در مورد تأثیر کربن بر روی فلز آهن اطلاعی داشته باشند (Read, 1934: 386- 387).

سرآغاز استفاده از کربنیزاسیون بصورت عمدی در جریان کار با توده‌های آهن چکش‌خوار، مانند هر جای دیگر در خاورمیانه نیز مبهم است. اکثر قدیمی‌ترین اشیاء آهنی در دسترس بدجوری دچار زنگ زدگی شده‌اند، همین موضوع کار مطالعه بر روی آنها را مشکل می‌سازد به همین علت به سهولت نمی‌توان مشخص نمود که آیا

خرده‌های کمی که از فولاد به دست آمده فولاد واقعی هستند یا بیشتر نتیجه‌ی استفاده از توده‌های آهن دارای حجم کربن نامتجانس می‌باشد.

آیا فلزگران پیش از ۱۲۰۰ پ.م. ابزارهای آهنی خود را کربونیزاسیون می‌نمودند، اگر نه، از چه تاریخی این اتفاق افتاده است؟ در حال حاضر فرض بر این است که این موضوع پیشرفت تکنولوژی مهم قرون متأخر هزاره‌ی دوم پ.م. می‌باشد (Moorey, 1994:284).

بعد از اینکه فلزگران دوره‌ی باستان به روشهای مختلف، زمینه‌های جذب کربن در داخل اشیاء آهنی را فراهم نمودند، جریان جذب اتمهای کربن در داخل اشیاء آهنی موجب افزایش سختی و مقاومت شیء فلزی می‌شد، لیکن مقاومت در مقابل ضربه و قدرت کششی آنرا کاهش داده و موجب افزایش شکنندگی اشیاء فولادی می‌شد. نتیجتاً بتدریج فلزگران روشهایی را تجربه نمودند که علاوه بر افزایش سختی اشیاء فولادی، قابلیت چقرمه-گی[۳۶] آنها را نیز افزایش می‌دادند که در ادامه‌ی این نوشتار در بحث روش ساخت اشیاء فولادی بیشتر به این مسأله می‌پردازیم.

قبلاً اشاره شد که قطعات آهنی به هنگامی که گرم باشند از طریق چکشکاری بهم جوش می‌خورند. به دلیل اینکه این تکه‌های آهنی در دوره‌ی باستان به وسیله آهنگران برای ساخت اشیاء سنگین مانند سرتبرها، به شکل ورقه‌هایی از طریق حرارت دادن و چکشکاری بر روی هم جوش می‌خوردند و از آنجایی که این ورقه‌های آهنی قبل از جوش خوردن بهم دارای ترکیبات کربنی متنوع و نامتجانسی بودند، با انجام مطالعات دقیق می‌توان بافت تورقی آنها را مشاهده نمود (Moorey, 1994: 284).

۲) روشهای تهیه فولاد

در تعریف فولاد گفتیم آلیاژی است که از ترکیب اتمهای کربن با آهن شکل می‌گیرد. همچنین اشاره نمودیم که جذب اتمهای کربن در داخل آهن و تولید تکه‌های فولادی ممکن است به صورت اتفاقی در هنگام احیاء سنگهای معدنی آهن نیز انجام شود. هنگامی که فلز گرم آهن حتی در حالت جامد قرار دارد و درجه حرارت آن بسیار پائین‌تر از نقطهٔ ذوب آهن است، اتمهای کربن در سراسر فلز به صورت سیال حرکت کرده و بعد از خنک شدن فلز، کیفیت آن به نسبت مقدار محلول کربن از لحاظ سختی و استحکام، افزایش قابل توجهی می‌یابد. در تشریح روش ساخت فولاد ما با دو موضوع مرتبط با هم مواجه‌ایم، موضوع اول کربنیزاسیون آهن است یعنی تبدیل آهن به فولاد یا بعبارتی دیگر فراهم آوردن شرایطی که قطعات آهن چکش‌خوار مقدار مورد نیاز کربن را جذب نموده و به اصطلاح به فولاد تبدیل شود. در اینجا قطعات آهنی به هر اندازه‌ای که اتمهای کربن را جذب می‌کنند و به همان اندازه نیز به سختی و استحکام آنها اضافه می‌گردد و در عوض شکنندگی آنها نیز بیشتر می‌شود. موضوع بعدی سخت‌تر و محکم‌تر نمودن و در عین حال کاهش قدرت شکنندگی اشیاء کربنیزه شده یا همان اشیاء فولادی می‌باشد. در اینجا محصولات کربنیزه شده را که در ضمن به اندازهٔ کربن جذب شده در داخل قطعات آهنی سخت و محکم نیز می‌باشند؛ با انجام اعمالی سخت‌تر و محکمتر نموده و گاهی اوقات خاصیت شکنندگی بالای محصولات کربنیزه شده را نیز کاهش می‌دهند. به همین علت روشهای تهیه اشیاء فولادی متعدد و متفاوت می‌باشد.

براساس مطالعاتی که در مورد روش کار آهنگران قبایل ابتدایی امروزی انجام گرفته، مشاهده شده است که روشهای بسیار متنوعی در ساخت آهن بکار می‌برند که

این موضوع خود نشان دهنده‌ی وجود تنوع گسترده‌ای در روشهای آهنگری دوره‌های گذشته می‌باشد (Read, 1934: 387-388).

عمومی‌ترین روشهای تهیه فولاد عبارتند از: فولاد معمولی یا فولاد سرد شده بوسیله جریان هوا[۳۷] فولاد سخت شده از طریق چکشکاری سرد[۳۸] و فولاد آبدیده[۳۹].

فولاد معمولی یا فولاد سرد شده به وسیله جریان هوا محصول فرایند پیاپی و مستمر سه مرحله‌ای حرارت دادن اشیاء آهنی در داخل احتراق تهیه شده از ذغال چوب و انجام چکش‌کاری بر روی آن و در نهایت خنک نمودن آن به وسیله جریان هوا یا خنک شدن بطور طبیعی، می‌باشد. در این فرایند که روش معمولی تهیه فولاد است، اشیاء آهنی به همان اندازه‌ای که کربنیزه می‌شوند به همان اندازه نیز سخت می‌شوند و بالطبع در همین راستا شکننده نیز می‌شوند. در این روش کوشش ناچیزی جهت سخت‌تر شدن اشیاء آهنی کربنیزه شده می‌شود و تقریباً هیچ تلاشی عمداً یا سهواً جهت از بین بردن شکنندگی اشیاء آهنی کربنیزه شده نمی‌شود.

در تهیه فولاد سخت شده از طریق چکشکاری سرد، تمامی اعمالی که در روش قبلی اشاره شد، توسط آهنگران انجام می‌شد بعلاوه اینکه بعد از خنک شدن شیء فلزی، بوسیله چکش به سخت نمودن[۴۰] آن می‌پردازند. این روش غالباً برای تیز نمودن لبه‌های ابزارهای برنده بکار می‌رود. اشیاء آهنی کربنیزه شده‌ای که عملیات چکشکاری سرد بر روی آنها انجام می‌گیرد، کیفیت سختی آنها افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. در اینجا علاوه بر افزایش سختی و مقاومت اشیاء فلزی، تا حدودی از خاصیت شکنندگی آنها نیز کاسته می‌شود. لبه‌های سخت شده از طریق چکشکاری سرد، سریعتر از بدنه شیء فاسد می‌شود به همین علت ممکن است که انجام مطالعات میکروسکپی بر روی آنها مشکل باشد. مدارک متالوگرافی در دسترس است که نشان می‌دهد در امتداد لبه‌ی یک تیغه‌ی شمشیر به دست آمده از حسنلو (قرن ۹پ.م.) عملیات چکشکاری سرد انجام شده است (Moorey, 1994: 283-284).

روش تهیه فولاد آبدیده مهمترین طریقه سخت نمودن آهن کربنیزه (فولاد) است که حتی امروزه نیز در بسیاری از کارگاههای کوچکی که به روش سنتی به تولید اشیاء فولادی می‌پردازند، بکار می‌رود. البته این روش دارای پیچیدگیهای خاصی می‌باشد. در اصطلاح فلزگری آبدادن عبارتست از گرم کردن فلز یا آلیاژ تا حرارتی پائین‌تر از نقطهٔ ذوب آن و سپس سرد کردن سریع آن در یک مایع یا در هوا. معمولاً عمل گرم کردن در درجه حرارتی انجام می‌گیرد که کربن موجود در آن بطور یکنواخت در تمام جرم آهن منتشر شده باشد. وقتی که انحلال کربن در گرما با سرد کردن بسیار سریع فولاد متعاقب باشد، حالت یکنواختی انتشار کربن در جرم آهن نتیجه‌ی مطلوبتری خواهد داد.

بطور کلی عمل آبدادن باعث افزایش سختی و در نتیجه افزایش مقاومت فولاد می‌گردد ولی مقاومت در مقابل ضربه و کشیدگی فولاد را کاهش خواهد داد. در واقع فولادها در عین حالیکه سختی فوق‌العاده‌ای ممکن است پیدا نمایند، شکننده نیز می‌شوند (اخوان نیاکی، ۱۳۴۸: ۹۱). توماس رید این فرایند را طور دیگری بیان می‌کند. بنظر ایشان اگر شیء آهنی که مقدار لازم کربن جذب نمودن است، در درجه حرارت بالا به صورت قرمز رنگ دربیاید و سپس سریعاً بواسطهٔ فرو بردن در آب یا روغن خنک شود به این عمل سخت نمودن می‌گویند و فرایند آبدادن یک مرحله حرارت‌دهی منظم و مستمر در یک درجه حرارت بسیار پائین‌تر می‌باشد که بعد از عمل

سخت نمودن انجام می‌گیرد. بعبارت دیگر آبدادن عبارتست از حرارت دادن شیء فلزی در درجه حرارتی پائین‌تر از درجه حرارت مورد نیاز برای عمل سخت نمودن، و سپس خنک نمودن سریع آن که چندین بار این عمل انجام می‌شود. در واقع آبدادن برای افزایش استحکام و سفتی و خاصیت چقرمه‌گی اشیاء فولادی است. در نتیجه ملاحظه می‌شود که در مورد فولاد آبدیده با دو جریان مرتبط با هم روبرو هستیم.

اول سخت کردن که عبارتست از حرارت دادن شیء فلزی در درجه حرارتی بسیار بالا و سپس خنک نمودن سریع آن که در این مرحله شیء فلزی علاوه بر اینکه سختی بسیار بالایی به خود می‌گیرد، به همان اندازه شکننده نیز می‌شود. در جریان بعدی چندین بار شیء فلزی را در درجه حرارت خیلی پائین‌تری حرارت داده و سریع خنک می‌کنند، در اینجا هدف اصلی افزایش سفتی و استحکام شیء فلزی در مقابل شکسته شدن است. آهنگران ابتدایی در مرحله اولیه میان خواص سختی و سفتی یکی را بر می‌گزیدند و تنها با گذشت زمان و کسب تجارب بیشتر بود که توانستند به روشهایی جهت کنترل این عوامل بپردازند (Read, 1934: 386-387).

عمل آبدادن در مورد اشیاء مفرغی مناسب نیست و نمی‌توان بدین روش ابزارها و سلاحهای مفرغی قابل قبولی را ساخت که هم دارای سختی و استحکام باشند و هم دارای لبه‌های تیز سخت (Moorey, 1994: 278).

بر همین اساس است که توماس رید معتقد است آغاز عصر آهن در کشف چگونگی تولید آهن از سنگهای معدنی اکسیدی آن نیست، زیرا این فرایند می‌بایستی تقریباً همزمان با تولید مس از سنگهای معدنی آن انجام گرفته باشد، بلکه عصر آهن آغازش به هنگامی است که فلزگران به چگونگی روشهای سخت نمودن و سفت نمودن اشیاء آهنی دست یافتند (Read, 1934: 387).

به احتمال زیاد عمل آبدادن در مراحل اولیه فقط به این علت بوده که سریعاً حرارت شیء آهنی را مهار نمایند و سپس برای انجام عمل چکش‌کاری بر روی شیء مذکور آنرا در دست بگیرند و یا جهت خنک نمودن سریع یک شیء انجام می‌گرفت که فرایند چکشکاری و حرارت‌دهی آن پایان یافته بود. ملاحظه می‌گردد که دستیابی به روشهای دقیق و کنترل کامل فرایند آهنگری بسیار مشکل و پیچیده است (Moorey, 1994: 284).

در نمودار شماره ۳ میزان سختی اشکال مختلف مس و آهن با هم مقایسه شده است. مشاهده می‌شود مس خالصی که از طریق چکشکاری گرم[۴۱] شکل پذیرفته، دارای پائین‌ترین میزان سختی (نقطهٔ a) است و با افزودن قلع به مس میزان سختی آن افزایش می‌یابد (تا حدود ۱۰٪ قلع، نقطه c). این نوع مفرغ را اگر عمل چکشکاری سرد بر روی آن انجام دهند سختی آن تا نقطهٔ D افزایش می‌یابد. اگر به آهن خالص یا همان آهن چکش‌خوار (نقطه e) کربن اضافه شود با تبدیل آهن به فولاد، اگر در ادامه فولاد را حرارت دهیم و اجازه دهیم به صورت طبیعی خنک شود، گسترده سختی (منحنی ۳) این نوع فولاد اندکی پائین‌تر از مفرغ‌های خوب پرداخته شده از طریق چکش‌کاری سرد است. اما اگر همین فولاد را بعد از حرارت دادن، به روش فرو بردن در آب یا هر مایعی (یا همان آبدادن) سریعاً سرد نمایند، سختی آن خیلی بالا می‌رود (منحنی ۴). این منحنی‌ها بطور تقریبی تهیه شده‌اند و میزان سختی آنها با توجه به حجم ناخالصی‌ها، جزئیات تکنیک ریخته‌گری و عوامل دیگر بطور قابل توجهی تغییر می‌یابد (Piggot, 1989: 68).

در حدود اوایل هزاره‌ی دوم پ.م. مفرغ‌کاران از طریق روشهای آلیاژ نمودن و چکشکاری سرد موفق شدند به تکنیکهای تهیه حداکثر سختی برای اشیاء فلزی تولیدی خود دست یابند، لیکن آهنگر کنترل خیلی کمی بر روی ترکیب فلزش داشت و گرفتار حجم کربن و فسفر شده بود. مفرغ‌کاران با استفاده از چکش و با چکشکاری سرد لبه‌های سختی بر روی ابزارها یا سلاحهای مسی و مفرغی ایجاد می‌کردند. احتمالاً آهنگران اولیه خیلی زود به این نتیجه رسیدند که اشیاء آهنی حرارت دیده که از طریق جریان هوا و به طور عادی خنک می‌شدند، سخت و محکمتر از مفرغ‌های ریخته‌گری شده هستند لیکن به پای سختی مفرغ‌های سخت شده از طریق چکشکاری سرد نمی‌رسند. فلزگران بتدریج دریافتند که با سخت نمودن اشیاء آهنی از طریق چکشکاری سرد می‌توانند اشیاء آهنی تولید نمایند که بطور قابل توجهی سخت‌تر از بهترین مفرغ‌های خوب پرداخت شده از طریق چکشکاری سرد بودند؛ این در حالی بود که فرو بردن آهن داغ سرخ شده از داخل کوره به درون آب، با هدف خنک نمودن آن، نیز یک فلز بی‌نهایت سخت تولید می‌نمود. شدت سخت شدن قسمتهای در آب فرو رفته تا جایی بود که موجب ترک‌دار و تابدار شدن آن شیء می‌شد و جهت جلوگیری از ترک برداشتن لبه در آب فرو رفته یک شیء شبیه یک شمشیر، لازم بود احتیاطات ویژه‌ای در نظر گرفته شود.

در ارتباط با چگونگی تبدیل آهن به فولاد و ترکیب شدن کربن با اشیاء آهنی، علاوه بر روشهایی که اشاره شد روشهای دیگری نیز وجود دارد و به دلیل اینکه احتمال استفاده گسترده از آن روشها در دوره‌ی باستان بعید به نظر می‌رسد در این نوشتار به آنها اشاره نشد، بعنوان نمونه کونگ دون[۴۲] به یک روشی اشاره می‌کند که در اوایل دورهٔ مستعمرانی آمریکا در میان بومیان آن منطقه مرسوم بوده و بنظر ایشان احتمالاً این روش در بین‌النهرین باستان نیز بکار رفته است. در این روش بر روی چاقوهای قصابی ابتدا چند بار پیه یا چربی می‌مالیدند و سپس تیغه‌ی چاقو را بطرز یکنواختی حرارت می‌دادند. این عمل چند بار تکرار می‌شد. در اینجا پیه سوخته شده یک منبع کربنی را فراهم می‌نموده و حرارت کوره چربی را در داخل خلل و فرج بسیار ریز تیغه‌ی چاقوهای آهنی فرو می‌برد و بدین طریق تیغه‌های بسیار تیزی بدست می‌آمد (Moorey, 1994: 283-284).

ج) آهن ریخته‌گری

بدلیل نقطه‌ی ذوب بالای آهن، فلزگران ابتدایی فقط قادر بودند آنرا احیاء نمایند و موفق به ذوب آن نمی‌شدند و این موضوع تا مدت زمان مدیدی بعد از استفادهٔ گسترده از آهن احیاء شده، ادامه یافت؛ با وجود این از طریق فراهم نمودن شرایطی که در آن آهن، کربن مورد نیاز را جذب می‌نمود، نقطه ذوب آن به پائین می‌آمد مثلاً آهن با ٪۴ کربن، بجای اینکه در ۱۵۳۶ درجه سانتیگراد ذوب شود، در حدود ۱۱۰۰ درجه ذوب می‌شود (ناصری، ۱۳۶۴: ۲۹). این درجه حرارت بسیار نزدیک به نقطه‌ی ذوب مس (۱۰۸۳ درجه سانتیگراد) و نقطه‌ی ذوب طلا (۱۰۶۳ درجه سانتیگراد) است.

آهن ریخته‌گری حاوی مقادیری کربن در حدود ٪۵- ٪ ۱/۵ می‌باشد. احتمالاً بعضی مواقع در درون کوره‌هایی که آهن چکش‌خوار را تولید می‌کردند، بصورت اتفاقی آهن مذاب نیز تولید می‌شده است. آهن مذاب در خاورمیانه باستان اگر هم تولید شده باشد، روش تهیه‌ی آن مبهم می‌باشد (Moorey, 1994: 278).

آغاز استفاده از سلاحهای آهنی در کشور چین به حدود ۵۰۰ پ.م. می‌رسد هر چند که قبل از این تاریخ

برای اهداف صلح‌جویانه از این فلز استفاده شـده است. در چین تعداد زیادی اشیاء آهنی ریخته‌گری شده به دست آمده که قدیمتر از ۲۰۰ پ.م. و جدیدتر از ۲۰م. نیستند. بنظر می‌رسد که این موضوع بعلت استفاده از ذغال سنگ بعنوان منبع سوخت بوده است. در اینجا ذغال سنگی که بعنوان منبع سوخت محلی استفاده شده، علاوه بر داشتن مقـدار لازم کـربن، دارای نـاخالصـی فسفـر نیز می‌باشد و اتفاقاً فسفر به صورت یک ماده گدازآور بـه فـرایند ذوب آهن کمک نموده است. فسفر نقطه‌ی ذوب آهن را تا نزدیک به نقطه‌ی ذوب مس بـه پـائیـن مـی‌آورد و به روند ذوب آهن و استفـاده‌ی از آن در ریخته‌گری کمک می-نموده است. احتمالاً همین امر موجب استفاده وسیع از آهـن ریختـه‌گـری شـده در چیـن گردیده است، در حالیکه این فرایند در این هنگام بندرت و به زحمت در مناطق دیگر جهان اعمال شده است (Read, 1934: 388).

روند تولید آهن

در خاورمیانه باستان در حدود اوایل هزاره‌ی سوم پ.م. تولید اشیاء آهنی بصورت پراکنده شروع می‌شود و در قرون متأخر همان هزاره علایمی وجود دارد که نشان دهنده‌ی تولید عمدی آهن است، از جمله این علایم یک خنجر آهنی مکشوفه از آلاجا هویوک در آناطولی مرکزی می‌باشد که به ۲۳۰۰ پ.م. تاریخگذاری شده است. این خنجر به اندازه‌ای بزرگ است که نمی‌توان گفت بصورت اتفاقی ساخته شده است. احتمال دارد که مدارک بیشتری دال بر تولید هدفمند آهن از همان ناحیه از کلنی تجاری آشوری بنام کاروم کانیش بدست بیاید که تاریخ آن به حدود ۱۹۰۰ پ.م. می‌رسد. متون این محل اشاره به ماده‌ی شناخته شده‌ای به نام «آموتوم[۴۳]» می‌کنند که ترجمه‌ی آن «آهن احیاء شده» می‌باشد. روند تولید آهن در این هنگام کنترل می‌شده است. مدارک مکشوفه از دوره‌ی هیتی‌ها دلایل بیشتری را در مورد تولید آهن در اختیار ما قـرار مـی‌دهند این مدارک نشان می‌دهند که فلزگران با آگاهی کافی به تولید آهن می‌پرداخته‌اند. با اینحال مدارک باستان شناختی در زمینه‌ی تولید در طیف وسیع آهن تا قبل از ۱۲۰۰ پ.م. نادر است و از این هنگام است که شاهد تولید اشیاء آهنی بصورت انبوه می‌باشیم، بطوری که تولید آهن نواحی جغرافیایی گسترده‌ای را در بر می‌گیرد (Piggot, 1982: 22-23).

در واقع ما بین ظهور تکنولوژی آهن و اقتباس آن در یک مقیاس وسیع یک فاصله زمانی حدوداً ۱۰۰۰ ساله وجود دارد. یعنی در طول این دورهٔ هزار ساله (۲۳۰۰–۱۲۰۰ پ.م.) فقط به شکل محدود و پراکنده از آهن استفاده می‌شده است. البته همانطوری که پیشتر نیز اشاره شد، آهن و اشیاء آهنی به سهولت و آسانی زنگ زده و چنانچه در معرض باد و باران و رطوبت و دیگر عوامل طبیعی قرار گیرند زود خورده شده و پس از اندک زمانی معدوم شده و به نمک تبدیل می‌شوند و این موضوع عامل مهمی است که موجب شده که مدارک کمتری جهت مطالعات فلزکاری کهن در دسترس قرار بگیرد.

براساس یافته‌های باستان‌شناسی برای روند گسترش تولید اشیاء آهنی دو دوره‌ی زمانی را در نظر می‌گیریم:

الف) از آغاز تولید اشیاء آهنی تا ۱۲۰۰ پ.م. که در این دوره اشیاء آهنی به صورت محدود و پراکنده تولید می‌شده‌اند.

ب) از ۱۲۰۰ پ.م. به بعد، از آغاز این دوره به بعد تولید اشیاء آهنی گسترش می‌یابد.

بطور کلی می‌توان گفت دو دسته عوامل اصلی در روند تولید محدود و بصورت پراکنده اشیاء آهنی در دورهٔ

نخست تأثیر داشته است: عوامل تکنولوژیکی و عوامل سیاسی – اجتماعی.

بنظر می‌رسد که در دوره‌ی نخست عامل اصلی در بوجود آمدن یک مرحله زمانی عقب ماندگی در تولید وسیع و انبوه اشیاء آهنی به دلایل تکنولوژیکی باشد.

در مراحل شکل‌گیری صنعت آهنگری که مصادف با تولید اولین توده‌های آهن اسفنجی است، تنوعات غیر قابل اجتنابی در ترکیب و غلظت توده‌های آهنی وجود داشت. متغیرهای زیادی به کار با سنگهای معدنی، سوخت و همچنین اندازه و وسعت و ساختار کوره‌ها تأثیر می‌گذاشت یعنی در واقع بر فرایند احیاء آهن تأثیر می‌نهاد، در حالیکه فلزگران در کار احیاء مس با آن مواجه نبودند. در کار با مس درجه حرارت کوره بطور موثر و نسبتاً دقیقی بر نوع فلز تولید شده اثر نمی‌گذاشت، در حالیکه در کار با آهن درجه حرارت کوره دقیقاً بر نوع فلز تولید شده تأثیر می‌گذاشت. در هنگام احیاء سنگهای معدنی آهن فلزگر با تهدیداتی مواجه بود، گاهاً حاصل تلاش او مقدار اندکی فلز آهن در داخل انبوهی از سرباره بود. یا بعضی متواقع محصول بدست آمده یک کلوخه فلزی بسیار سخت، شکننده و غیر قابل استفاده بود، در حالیکه نتیجه‌ی مطلوب یک توده آهن اسفنجی بود که حتی تحت شرایطی که فلزگر آن دوره کار می‌کرد گستره کربن توده‌های آهن اسفنجی قابل استفاده که بدست می‌آورد بسیار متنوع بود (Moorey, 1994: 282-283).

توماس رید مشکلات متعدد در فعل و انفعالات شیمیایی و مواد اولیه مورد نیاز برای احیاء سنگهای معدنی آهن را در مقابل مشکلات موجود در روند تولید اشیاء دارای کیفیت قابل استفاده از توده‌های آهنی حاصل فرایند احیاء آسان می‌داند. بنظر ایشان تولید توده‌های آهن اسفنجی از سنگهای معدنی آن آسان است و می‌بایستی خیلی زودتر انجام گرفته باشد، اما مشکل در تولید اشیاء آهنی دارای کیفیت مناسب از توده‌های آهن اسفنجی است و این مشکل تا مدت زمان طولانی بعد از اینکه فن تولید مس و آلیاژهای آن به خوبی پیشرفت نمود، همچنان باقی ماند (Read, 1934: 387).

در جریان برسندان کوبیدن آهن انرژی بسیار بیشتری صرف می‌شود نسبت به زمانی که اشیاء فراوان مسی- مفرغی از طریق ریخته‌گری تولید می‌شود. تفاوت مابین کار با آهن و مفرغ در تولید محصول نهایی برجای می‌ماند. برای تولید اشیاء آهنی در یک مقیاس وسیع، در جریان برسندان کوبیدن کار فیزیکی و زمان زیادی صرف می‌شود. بعد از عملیات احیاء می‌توان از طریق ریخته‌گری اشیاء مسی- مفرغی را (با کمی یا هیچگونه دستکاری تکمیلی) به شکل اشیاء کاربردی و تزئینی تولید نمود. در کار با آهن می‌توان از طریق کار بر روی توده‌های آهن اسفنجی، یکسری از اشیاء آهنی را تولید نمود لیکن جهت ساخت اشیاء کاربردی مانند سلاحها می‌بایستی ساعات کار بیشتری صرف شود تا بتوان از توده‌های آهن اسفنجی اشیاء کاربردی مناسبی را تولید نمود.

مشکل دیگر در ارتباط با تولید اشیاء آهنی اولیه این بود که اصولاً آهن چکش‌خوار دارای کربن پائین، مزیت برجسته‌ی مهمی نسبت به محصولاتی که از آلیاژهای بر پایه مس[۴۴] ساخته می‌شد، نداشت (Piggot, 1982: 23).

مدارک باستان‌شناسی محدودی وجود دارد که نشان دهندهٔ تولید ثابت و عمدی فولادهای واقعی در خاورمیانه باستان در طول دوره‌ی اول است (Piggot, 1989: 67). به همین علت است که آقای موری اشاره نموده‌اند که بایستی از بکار بردن واژه‌ی «فولاد» برای اشیاء

آهنی که قبل از ۱۰۰۰ پ.م. تولید شده‌اند اجتناب نمائیم (Moorey, 1994: 283).

مدارک مستند بدست آمده از سنتهای متنوع فلزکاری عصر مفرغ در سراسر خاورمیانه، نشان می‌دهد که اوضاع نامناسب کار با آهن به شکلی بود که فلزگران عصر مفرغ به طور مستقل در جوامع منزوی مشغول به کار بودند و توانایی لازم جهت کار با آهن را نداشتند و فاقد محرک اساسی برای کار با آهن در مقیاس وسیع بودند. در خاورمیانه تنها بعد از تغییرات فرهنگی- اجتماعی مخصوص و ویژه بود که تولید وسیع آهن بصورت مطلوب و عملی درآمد (Piggot, 1982: 23). از سوی دیگر شاید بتوان گفت که در مراحل اولیه پیچیدگی، مشکل بودن و مهارت مورد نیاز در ساخت آهن تقریباً به صورت یک سر شغلی با ارزشی درآمده بود، تا جائیکه فقط شاگردان فلزگران این فن را یاد می‌گرفتند و به طرز دیگری گسترش داده نمی‌شد (Read, 1934: 387).

در دورهٔ اول آهن نادر بود، یک مادهٔ با ارزشی بود که به مردم دارای ارش طبقاتی بالا تعلق داشت. این موضوع هم در نوع اشیاء ساخته شده و هم در زمینه‌هایی که اشیاء آهنی بدست آمده، منعکس است؛ برای نمونه در متون هزاره‌ی دوم پ.م. هیتی‌ها اشاره شده که اشیاء آهنی را در ارتباط با آئین‌های تشریفاتی و مذهبی استفاده می‌نموده‌اند. در محوطه‌های باستان‌شناسی متعلق به هزاره‌ی اول پ.م. تولید اشیاء آهنی و مفرغی نسبت به محوطه‌های هزارهٔ دوم پ.م. بسیار بیشتر است. این موضوع نشان دهنده این است که فلزکاری آهن در هزارهٔ اول پ.م. به شکل یک صنعت درآمده است یعنی در واقع افزایش اهمیت اجتماعی- اقتصادی این فلز، باعث تولید آن در مقیاس انبوه گردیده است (Piggot, 1989: 67-68).

در فاصله‌ی ما بین تولید اولین نمونه‌های اشیاء آهنی در هزاره‌ی سوم پ.م. تا هنگامی که تولید آهن به شکل انبوه درآمد، هر چند که شمار اشیاء آهنی بتدریج افزایش می‌یابد، با وجود این مدرکی وجود ندارد که نشان دهنده‌ی گسترش واقعی تکنولوژی آهنگری در این دوره‌ی زمانی باشد و فلزگری مس- مفرغ همچنان به سیطره‌ی خود ادامه می‌دهد. برای اینکه شرایط استفاده از یک نوآوری بهبود یابد و آن نوآوری مورد استفادهٔ همه قرار گیرد. اقتباس آن نوآوری برای آن اجتماع باید به شکل یک منفعت درآید و تدریجاً این منفعت خود به صورت سهولت در چگونگی استفاده از آن ایده‌ی جدید تجلی می‌یابد (Piggot, 1982: 22-23).

عوامل گسترش تولید آهن

به راستی انگیزه و محرک اصلی گسترش وسیع صنعت آهنگری از تاریخ ۱۲۰۰ پ.م. به بعد چه بود؟ چه عامل یا عواملی این شرایط را به وجود آوردند؟ در شرایطی که تکنولوژی فلزگری مس- مفرغ به نقطه اوج پیشرفت خود رسیده بود، چه اتفاقی افتاد که شاهد تولید انبوه اشیاء آهنی و جایگزینی تدریجی فلزگری آهن به جای فلزگری مس- مفرغ از تاریخ ۱۲۰۰ پ.م. به بعد هستیم. مطالعات زیادی در این زمینه جهت پاسخ به سئوالاتی از این قبیل صورت گرفته است با وجود این هنوز نتیجه قطعی در این مورد حاصل نشده است. به احتمال زیاد سه سری عوامل مهم، زمینه‌های اصلی تولید انبوه اشیاء آهنی را در یک گستره‌ی جغرافیایی وسیع فراهم نمودند، محدوده‌ی جغرافیایی که شامل ایران، آناطولی، سوریه، شمال بین‌النهرین و فلسطین می‌شود. این سه سری عوامل عبارتند از عوامل اقتصادی، عوامل تکنولوژیکی و عوامل سیاسی- اجتماعی.

البته نبایستی انتظار داشت که این سه سری عوامل بطور همزمان و هماهنگ موجب شکوفایی تکنولوژی آهنگری از یک زمان خاص در کل منطقه شده باشند. چه بسا در دوره‌ی باستان فقط یکی از این عوامل محرک اصلی شکوفایی تکنولوژی آهنگری در یک ناحیه‌ی خاص شده است.

الف) عوامل اقتصادی

یکی از عوامل مهم اقتصادی ترغیب کننده‌ی افزایش میزان اتکای به فلزگری آهن فراوانی موجودی کانی‌های معدنی آهن در پوسته‌ی زمین است. همانطوریکه پیشتر اشاره شد آهن از لحاظ فراوانی چهارمین عنصر طبیعت است بعلاوه سنگهای معدنی آهن خیلی راحت‌تر از سنگهای معدنی مس بدست می‌آیند.

از سوی دیگر پائین بودن حجم سوخت مورد نیاز در آهنگری، نیز در روند گسترش تولید اشیاء آهنی نقش بسزایی داشته است. اشاره شد که سوخت مورد نیاز برای تمام مراحل تولید یکسری از اشیاء مشخص از جنس آهن، بسیار کمتر از سوخت مورد استفاده در تهیه همان مقدار از اشیاء مسی یا مفرغی است به همین علت سوخت مورد استفاده در تولید اشیاء آهنی خیلی راحت‌تر تهیه می‌شد.

یکی از مواد بسیار مهمی که در تولید اشیاء مفرغی با مس ترکیب می‌شده است فلز قلع می‌باشد. براساس مطالعات فراوانی که در این زمینه انجام شده، هنوز منابع معدنی از کانسارهای فلزی قلع که در دوره‌ی باستان به راحتی در دسترس فلزگران خاورمیانه قرار گرفته باشد، کشف نشده است و مهمترین منابع معدنی قلع منطقه خاورمیانه در افغانستان قرار دارند (Cleuziou & Thierry, 1982: 14-17). جهت تهیه‌ی قلع از مسافتهای دور، مشکلات زیادی گریبانگیر فلزگران می‌شد، در حالیکه در استفاده از سنگهای معدنی آهن با چنین مشکلاتی مواجه نبودند.

ب) عوامل تکنولوژیکی

پیشتر از عوامل تکنولوژیکی بعنوان مانع اصلی که موجب به تعویق افتادن فرایند تولید انبوه اشیاء آهنی شد، نام بردیم، با این حال با گذشت مدت زمانی حدوداً ۱۰۰۰ ساله از آغاز تولید اولین قطعات آهنی، بتدریج فلزگران در نتیجه‌ی کار با توده‌های آهن اسفنجی به خواص این ماده پی بردند و زمینه‌های لازم جهت استفاده‌ی بهتر و بیشتر از آهن فراهم شد. سختی، قابلیت سخت شدن، قابلیت چقرمه‌گی یا همان محکم شدن، قابلیت جوش خوردن و قابلیت برسندان کوبیدن از ویژگیهای مکانیکی مهم فلز آهن می‌باشد که موجب برتری تکنولوژیکی این فلز نسبت به مس و آلیاژهای آن شد.

هر چند که مفرغ فلز خیلی شکننده‌ای نیست، با اینحال این فلز ظرفیت محدودی جهت تغییر حالت و شکل‌پذیری از طریق چکش‌کاری دارد. هنگامی که یک شیء مفرغی شکسته شود نمی‌توان سریعاً آنرا تعمیر نمود. شیء آهنی بیش از آنکه شکسته شود مایل به خم شدن و ناموزون و ناهموار شدن است. شیء آهنی را می‌توان نسبتاً سریع تعمیر نمود و دوباره تیز نمود. یک شیء آهنی را می‌توان از طریق حرارت‌دهی و چکشکاری از یک شکل به شکل دیگر تغییر داد یعنی اگر یک شیء آهنی شکسته شود قابلیت جوش خوردن از طریق برسندان کوبیدن دارد، لیکن اگر یک شیء مفرغی شکسته شود بایستی دوباره ذوب شده و ریخته‌گری شود. در ساخت اشیاء مفرغی نیاز به ریخته‌گری‌های متعددی است، در حالیکه تولید انبوه اشیاء آهنی از طریق برسندان کوبیدن یک کار متمرکز زحمت‌داری می‌باشد (Moorey, 1994: 283).

این در حالی است که از طریق چکشکاری و آبدادن آهن می‌توان اشیاء فولادی تهیه نمود که حتی بهتر از مفرغ‌های ایده‌آل بودند.

ج) عوامل سیاسی- اجتماعی

در کنار تأثیراتی که عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی بر روند روبه گسترش تولید آهن داشتند، نبایستی که نقش تحولات مهم سیاسی- اجتماعی را که در طی قرون متأخر هزاره‌ی دوم پ.م. در منطقه خاورمیانه به وقوع پیوست، نادیده بگیریم. در میان تغییرات اجتماعی- سیاسی مهم بوجود آمده در حدود ۱۲۰۰ پ.م. می‌توان اضمحلال امپراطوری هیتی و حرکت توده‌های مردمی را نام برد که با تغییر مکانهای جمعیتی مهمی که انجام شد، در خیلی از نواحی منطقه خاورمیانه سازمانهای اجتماعی- سیاسی جدید شکل گرفت.

در طول این دوره اقوام مختلف شامل فلسطینی‌ها، آشوری‌ها و اورارتوها همگی امپراطوریهای خود را مستحکم نمودند. این امپراطوریها برای اهداف نظامی، کشاورزی، زیربنایی و نیازهای روزانه توده‌ی مردم به مقادیر زیادی فلز نیاز داشتند. برگزیدگان سیاسی کنترل تمرکز یافته‌ای بر مجموعه‌ای از افراد اعمال می‌کردند تا به تولید انبوه آهن بپردازند. این برگزیدگان سیاسی ساختارهای اداری ایجاد نمودند و نیروی کاری را در هنگام انجام سلسله فرایند فعالیتهای متنوع و متمرکز در تولید آهن هماهنگ نمودند. در واقع تولید آهن در خاورمیانه باستان هنگامی گسترش یافت که تشکیلات تولیدی با توجه به فراوانی منابع معدنی آهن، بوسیله یک گروهی نظارت می‌شد. این تشکیلات اجتماعی- سیاسی به شکلی بود که تولید آهن به بهترین وجه همهٔ تقاضا را برآورده می‌نمود (Piggot, 1982: 23-25).

بنظر می‌رسد که بعد از اضمحلال امپراطوری هیتی، صنعت آهنگری هم در خود آناطولی و هم در ایالات مجاور مانند سوریه گسترش بیشتری یافت (Moorey, 1994: 286). بعلاوه ظهور دولت شهرهای قدرتمند در این زمان مخصوصاً آشور و رقیب آن در شمال یعنی اورارتو، تأثیر بسزایی در گسترش تولید آهن و تکنولوژی در ارتباط با آن ایفاء نموده است. این دو امپراطوری با ایجاد سنتهای آهنگری در طول دورهٔ شکوفایی تولید آهن در این ناحیه در قرن ۹ پ.م. تأثیرات شگرفی بر منطقه شمال غربی ایران گذاشتند (Piggot, 1989: 69).

اسنودگراس[۴۵] در سال ۱۹۸۰ سه مرحله پیشرفت را جهت استفاده از آهن خاطرنشان می‌کند. به نظر ایشان در مرحله I ممکن است که آهن به شکل فراوانی در برخی محلها استفاده شده باشد، اما در این مرحله آهن به طریقه و روش کار واقعی بدست نمی‌آمد، مثلاً به شکل قطعات آهنی که حاصل فرایند احیاء سنگهای معدنی مس بود، به دست می‌آمد. در این مرحله به طور کلی استفاده از آهن برای ساخت اشیاء تزئینی است و غالباً به شکل یک کالای گرانقیمت استفاده می‌شد. در مرحله II علاوه بر اینکه به روش کار واقعی به تولید آهن می‌پرداختند، از آهن برای ساخت ابزارآلات کاربردی نیز استفاده می‌شد لیکن هنوز کمتر از مفرغ بکار می‌رفت. در مرحله‌ی III بتدریج آهن جایگزین مفرغ شده و بیشتر از مفرغ تولید می‌شد. اسنودگراس تأکید می‌کند که عوامل تکنولوژیکی موجب آغاز مرحله‌ی I و تحول از مرحله‌ی I به مرحله‌ی II شده‌اند و عوامل اقتصادی موجب پشت سرنهادن مرحله‌ی II و ورود به مرحله‌ی نهایی شده‌اند (Moorey, 1994: 287).

یافته‌های باستان‌شناسی

تاکنون نمونه معادن اولیه مورد استفاده جهت تولید آهن شناسایی نشده است و یافته‌های موجود در مورد احیاء این فلز در اوایل عصر آهن نیز مبهم می‌باشند؛ تنها مدارک مستند تأسیسات عملیات احیاء می‌باشد که در ناحیه گلجیس[۴۶] در امتداد ساحل دریای سیاه در کشور گرجستان قرار دارد. این تأسیسات از لحاظ گاهنگاری مربوط به اوایل عصر آهن می‌باشد. در این ناحیه ذخایر شن‌های سیاه ساحل دریا دارای مقادیر غنی منیتیت و هماتیت می‌باشد که احتمالاً به عنوان منبع سنگهای معدنی بوده که در کوره‌های کشف شده، استفاده می‌شده است. البته چنین مدرکی گمراه کننده می‌باشد و تا هنگامی که لایه‌نگاری و گاهنگاری این مکانها (و مکانهای شناخته شده دیگری که در قفقاز قرار دارند) بطور مفصل منتشر نشود، اهمیت واقعی آنها نامشخص است (Piggot, 1989: 69).

در ارتباط با کوره‌های اولیه احیاء آهن که در ارمنستان کشف شده، متأسفانه تاکنون نه تاریخ دقیقی و نه طرح بازسازی شدهٔ درستی منتشر شده است. بنظر می‌رسد قدمت آنها به قرن ۱۲ پ.م. برسد. همه‌ی این کوره‌ها کاسه‌ای شکل هستند و گودال کوره‌ها به وسیله‌ی لایه‌های سنگهای معدنی بهمراه ذغال چوب پر شده است. در مورد فلزگری مرحله‌ی استفاده از آهن در مقادیر محدود، تاکنون هیچگونه یافته‌ای به دست نیامده است. وضعیت ایران صرفنظر از قطعه آهن شهابی بدست آمده از سیلک II ، بسیار مبهم است. یافته‌های مادی و اسناد مکتوب تا اواخر هزاره‌ی سوم پ.م. هیچگونه کمکی به ما نمی‌کند. مدارک مکتوب اواخر هزاره‌ی سوم پ.م. به یک خنجر آهنی ساخته شده در انشان اشاره می‌کنند (Moorey, 1994: 282).

پیگوت یافته‌های در زمینه‌ی تولید آهن در طول عصر آهن I-III در ایران را مورد بررسی دقیق قرار داده است، در حالیکه پیشرفت تدریجی فلزگری آهن در دوره‌ی آهن II قابل مشاهده است، با وجود این حتی در دوره‌ی آهن II شاهد کمیاب بودن داده‌های مطمئن در مورد تولید واقعی اشیاء آهنی می‌باشیم، آنهم در مکانهای مربوط به این دوره که به طور دقیقی تاریخگذاری شده‌اند. آنچه که بنظر می‌رسد این است که تکنولوژی فلزگری عصر آهن I به شکل یک پیش درآمد بومی برای تولید صنعتی آهن، در دوره‌ی آهن II عمل می‌کند. موری و پیگوت معتقدند که استفاده از آهن برای تزئین اشیاء مفرغی، ریخته‌گری مفرغ بر روی اشیاء آهنی و تولید قطعات نامشابه از آهن کربنیزه شده در دوره‌ی آهن I در ایران، به مانند گستردگی ذخایر سنگهای معدنی کشورمان، یک وضعیت ایده‌آلی را برای شیوع نسبتاً سریع تکنولوژی آهن بعد از اقتباس اولیه آن، فراهم نمود. در دوره‌ی آهن I مدارک مطمئنی که دال بر تولید محلی و در مقیاس مهم آن در ایران باشد، به دست نیامده است. تنها اشیاء آهنی مربوط به این دوره که از طریق مطالعات آزمایشگاهی نیز بررسی شده‌اند، تیغهٔ آهنی یک خنجر با یک دسته مفرغی ریخته‌گری شده بر روی آن، یک سرنیزه و یک درفش می‌باشد. این اشیاء از مارلیک به دست آمده و معلوم نشده که آیا این اشیاء عمداً کربنیزه شده‌اند یا نه.

با پایان قرن نهم پ.م. و حدوداً اواخر دوره‌ی آهن II ، حداقل در مراکز مهم شهری شرایط تولید آهن بطور مشخصی تغییر می‌کند و تولید در مقیاس انبوه آهن در همه جا گسترش می‌یابد (Moorey, 1982: 92-93).

یکی از محوطه‌های بسیار مهم عصر آهن ایران تپه حسنلو می‌باشد که در دره سلدوز در کنار دریاچه ارومیه قرار دارد. اشیاء آهنی یکی از مهمترین مجموعه‌های اشیاء

بدست از این تپه را تشکیل می‌دهد. بیش از دو هزار شیء آهنی منحصر به فرد در جریان کاوشهای این محل به دست آمده است. بیشتر این اشیاء از طبقه ویران شده در روی تپه مرتفع بدست آمده‌اند که تاریخ آنها به ۸۰۰ پ.م. می‌رسد. این مجموعه هم بعلت تنوع زیاد گونه‌های اشیاء و تکنولوژی بکار رفته در ساخت آنها و هم به خاطر اطلاعات با ارزشی که در زمینه تحول در پیشرفت تکنولوژی آهنگری در اختیار ما می‌گذارند، دارای ارزش بسیار بالایی می‌باشند. تولید اشیاء آهنی در دوره‌ی آهن II (۸۰۰–۱۱۰۰ پ.م.) در تپه حسنلو به شکل یکی از صنایع مهم این محل درآمده بود. هر چند که مدارک مستقیمی چه در مورد عملیات احیاء و چه در مورد فلزکاری آهن تاکنون از این محل به دست نیامده، با وجود این، فرمها و تزئینات منحصر به فردی که از حسنلو به دست آمده، هیچ شکی باقی نمی‌گذارد که تولید آهن در این محوطه به صورت محلی انجام گرفته است. در قرن ۹ پ.م. بتدریج آهن جانشین مفرغ شده است و تنوع فراوان مواد استفاده از آهن در این محل دال بر این موضوع است، به طوری که مشاهده می‌شود از هر دو نوع فلز آهن و مفرغ به شکل یکنواختی برای تهیه ابزارهای مختلف در سبکهای گوناگون استفاده شده است.

مطالعاتی که بر روی گونه‌های ابزاری صورت گرفته، نشان می‌دهد که از آهن بیشتر برای ساخت سلاحها و ابزارها استفاده شده است. آنالیزهای انجام گرفته بر روی اشیاء آهنی مکشوفه از حسنلو نشان دهنده‌ی این است که این اشیاء از لحاظ ترکیب ساختاری در بیشتر موارد متوسط بین آهن چکش‌خوار (واقعاً با هیچگونه میزان کربن) و فولاد (آهن با میزان نسبتاً بالایی از کربن) می‌باشند. البته مقادیر بسیار متغیر موجودی کربن داخل ترکیب اشیاء نشان می‌دهد که فلزگران این محل هنوز بطور عمدی مراحل تبدیل آهن به فولاد را انجام نمی‌دادند (Piggot, 1989: 67-78).

شاید بتوان افزایش یکنواخت تولید آهن در غرب ایران را از طریق آثار مکشوفه از قبرستانهای غرب لرستان که بوسیله‌ی هیئت بلژیکی به دست آمده‌اند، ارزیابی نمود. به دلیل اینکه قبور حفاری شده غالباً دوبار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، تعیین دقیق کرونولوژی آنها به سهولت امکانپذیر نیست. قبور مربوط به عصر آهن I واقعاً فاقد اشیاء آهنی می‌باشند. از داخل قبور عصر آهن II اشیاء آهنی مانند دستبند، خنجر و سرنیزه به دست می‌آید در حالیکه درون قبور مربوط به عصر آهن III انبوهی از اشیاء آهنی پیشرفته قرار دارد. آهنگران این منطقه از ایران در فرایند برسندان کوبیدن مهارت یافته بودند، لیکن دانش کمی در مورد جوش زدن قطعات آهنی داشتند و در عوض به تقلید از اشکال مفرغی، اتصالات مناسبی را در اشیاء آهنی بکار می‌بردند.

در مطالعات بازنگری یانگ از تپه گیان در دوره‌ی گیان I (۴–۲) اشیاء آهنی کمیاب بودند لیکن در دوره گیان I (۱) در حدود ٪۲۳ اشیاء فلزی به دست آمد آهنی بودند. در کاوشهای خانم گلرگاف‌مید در باباجان تپه ابزارآلات متنوعی به دست آمده است. در طبقه سوخته II_B که به نیمهٔ اول قرن ۷ پ.م. تاریخگذاری شده، شاهد حضور انبوه اشیاء آهنی می‌باشیم. اشیاء آهنی این طبقه شامل تیغه‌های خنجر، سرپیکانها و یک سرنیزه می‌شود. در معبد سرخ دم لرستان از داخل آثار متعلق به قرون ۱۰–۹ پ.م. اشیاء آهنی به دست آمده است، لیکن نهایتاً در طبقه‌ی مربوط به قرن ۷ پ.م. است که اشیاء آهنی مکشوفه چهار برابر می‌شوند. این الگو در بیشتر محوطه‌های ایران مرکزی رایج است. در سیلک تا هنگام قبرستان B (–۶۵۰

۸۵۰ پ.م.) آهن به شکل یک عضو مهم صنعت فلزگری ظهور ننمود (Moorey, 1982: 93).

یکی از محوطه‌های مهم فلات مرکزی ایران که آثار فرهنگی مهمی را از اواخر عصر مفرغ و عصر آهن در خود انباشته است، تپه سگزآباد در دشت قزوین می‌باشد. در این محوطه مدارک مهمی دال بر تولید اشیاء مفرغی و اشیاء آهنی در محل به دست آمده است[۴۷].

در آغاز پیدایش آهن در سگزآباد در دوره‌ی آهن I ، از این فلز به طور محدود استفاده شده است. اشیاء آهنی این دوره دارای خوردگی و زنگ زدگی و فرسودگی بسیار زیاد هستند که شناسایی کاربرد آنها را غیر ممکن می‌سازد. در حالیکه از یک گودال زباله که مربوط به عصر آهن II (۱۱۰۰- ۸۰۰ پ.م.) تپه سگزآباد می‌باشد تعداد زیادی اشیاء فرسوده ساخته شده از آهن شامل تیغه-های خنجر، داس و چاقو کشف شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که در این دوره استفاده از اشیاء آهنی افزایش بی‌سابقه‌ای پیدا کرده بود، به طوریکه در صورت فرسوده شدن آنها یک کالای دور انداختن به حساب می-آمدند. اما مسأله‌ی تعجب‌آور این است که همزمان با ازدیاد تولید آهن، نه تنها هیچ نوع جهش و پویایی در دیگر الگوهای فرهنگی تپه سگزآباد دیده نمی‌شود، بلکه یک افت محسوس بویژه در معماری محوطه به صورت کوچکتر شدن محدوده‌ی مناطق مسکونی قابل مشاهده است. این موضوع از این نظر قابل توجه است که در محوطه همزمان از جمله تپه حسنلو دوره IV درست برعکس آنچه که در سگزآباد می‌بینیم، همزمان با فراگیر شدن استفاده از آهن، پیشرفتهای زیادی در ساختار فرهنگی، سیاسی و اقتصادی محوطه دیده می‌شود (طلایی، ۱۳۸۱: ۵۶۰ و ۵۶۲- ۵۶۳).

نتیجه‌گیری

ظهور اولین توده‌های خمیری شکل آهن اسفنجی نتیجهٔ احیاء سنگهای معدنی مس و سرب بوده که گاهی اوقات به صورت یکی از محصولات فرعی بار کوره‌های احیاء و ذوب سنگهای معدنی مس و سرب به دست می-آید. در واقع مراحل اولیه احیاء به شکلی انجام می‌گرفت که بطور ناخودآگاه سنگهای معدنی ترکیبی یا سنگهای معدنی چند فلز که در مجاور هم قرار داشتند، برای عملیات تلخیص مورد استفاده قرار می‌گرفت.

آنچه محرز به نظر می‌رسد اینکه اولین توده‌های آهنی به روشهایی غیر از آنچه معمول است، به دست آمده است و از مهمترین روشهای ظهور آهن نیز می‌توان به استفاده‌ی عمدی یا سهوی از اکسیدهای آهن بعنوان ماده‌ی گدازآور در امر احیاء سنگهای معدنی مس و سنگهای معدنی سرب و نیز احیاء سنگهای معدنی ترکیبی اشاره نمود، بنابراین همانطوری که آقای پیگوت نیز اشاره نموده‌اند، از لحاظ تکنولوژیکی ظهور آهن یک موضوع نسبتاً ساده است زیرا همن سنگهای معدنی مس حاوی مقادیر مهمی از آهن هستند و هم سنگهای معدنی مس، آهن و سرب غالباً به همراه هم و یا در مجاور هم در ذخایر زمین‌شناسی یکسانی قرار دارند. در نتیجه گاهی اوقات تکه‌هایی از آهن اسفنجی در بار کوره‌های فلزگری مس و سرب به دست می‌آمد و فلزگران مدتها قبل از اینکه بطور عمدی شروع به تولید آهن کنند، با توده‌های آهن اسفنجی آشنایی داشتند.

با وجود تفاوتهای بارزی که در امر تولید اشیاء مسی- مفرغی و اشیاء آهنی وجود دارد، مشخص شده که پیشرفت تکنولوژی فلزکاری عصر مفرغ به خصوص در مناطقی که سنگهای معدنی آهن در داخل و یا مجاور شبکه‌ی گسترده‌ی سنگهای معدنی موجود مس قرار داشت

به واسطه‌ی عملیات احیاء سنگهای معدنی، موجب ظهور دانش آهنگری شد.

استفاده از آهن در مراحل اولیه ظهور این فلز برای تزئین اشیاء مفرغی و ساخت اشیاء دوفلزی در مراحل اولیه تولید انبوه اشیاء آهنی از یک طرف نشان دهنده‌ی ارتباط نزدیک و تنگاتنگ فلزگری اشیاء بر پایه مس و اشیاء آهنی می‌باشد و از سوی دیگر بتدریج زمینه‌ی مناسبی را برای تولید انبوه اشیاء آهنی فراهم نمود.

فاصله‌ی زمانی حدوداً هزار ساله که ما بین ظهور تکنولوژی آهن و اقتباس آن در یک مقیاس وسیع وجود دارد، نشان دهنده‌ی پیشرفت و گسترش تدریجی این تکنولوژی جدید می‌باشد. در مراحل اولیه مشکلات متعددی مانند صرف نیرو و زمان زیادی در عملیات برسندان کوبیدن، باعث می‌شد تا روند پیشرفت و گسترش این تکنولوژی جدید به صورت کند انجام بگیرد.

بتدریج با برطرف شدن برخی از مشکلات در تولید اشیاء آهنی و پیشرفتهایی که در این زمینه به وقوع پیوست، ساخت و تولید اشیاء آهنی در مقیاس وسیعی گسترش یافت به طوری که فلزگران در کارگاههای فلزگری از توده‌ی فلزی که بسیار نرم و چکش‌خوار بود و هیچگونه برتری نسبت به مفرغ‌های ایده‌آل نداشت، اشیاء فلزی بسیار مناسبی را تولید می‌کردند که در نهایت از لحاظ سختی و سفتی و جهات دیگر، برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به بهترین مفرغ‌های ساخته شده، داشتند، در این میان امتیازات دیگری مانند فراوانی منابع معدنی آهن و مصرف ذغال چوب کمتر در جریان فعالیت آهنگری، به روند اشیاء آهنی سرعت بیشتری بخشید.

مطالعه‌ی سیر تحول تکامل تکنولوژی فلزگری آهن نشان دهنده‌ی ظهور تغییرات تکنولوژیکی در راستای پیشرفت فرهنگی در جوامع دوره‌ی باستان می‌باشد. در واقع روند ظهور آهن و تولید اشیاء آهنی به شکل تغییرات تکنولوژیکی در فلزکاری کهن که در راستای پیشرفت فرهنگی جوامع دوره‌ی باستان صورت گرفته است، قابل مطالعه می‌باشد. تولید اشیاء آهنی در مراحل اولیه ظهور آهن نشان دهندهٔ پیشرفت تکنولوژی فلزکاری کهن می‌باشد و هیچگونه نشانی از تغییرات فرهنگی یا پویایی فرهنگی در روند تولید اشیاء آهنی قابل مشاهده نیست. ما در حالی در مورد آغاز تولید در مقیاس انبوه اشیاء آهنی از ۱۲۰۰ پ.م. به بعد صحبت می‌کنیم که این موضوع بیشتر در مورد سرزمینهای خارج از مرزهای فرهنگی ایران صدق می‌کند و در مورد ایران از قرون ۹ و ۸ پ.م. به بعد است که شاهد ظهور تدریجی این تحول هستیم.

یادداشتها

1- Alloy 2- Ore
3- Native Metal 4- Meteorites
5- Meteorites Iron 6- Smelting
7- Fer Iron 8- Gangue
9- Flu xings 10- Slag
11- Casting 12-Off shoots metals
13- Deposits 14-Chalcopyrite
15- Minerals 16- Melting
17- bi metallic artifacts 18- Oxidation
19- Spong iron 20-Carbon monoxide
21- Carbon dioxide 22- re oxidizes
23- Melting point 24- Tylecote
25- Forging 26- Wrought iron
27- Steel 28- Colde worked
29- bloom 30-Maxwell hyslop
31- Karum kanesh 32- Carburization
33- brittleness 34- Tempering
35- plainer 36- Toughness
37- iron air coold 38- Cold work- hardening iron
39- iron Tempering 40- hardening
41- hot-worked 42- Cong don
43- amutum 44- Artifacts base on copper
45- Snodgrass 46- Gol chis

۴۷- برای مطالعه بیشتر رجوع شود به: مظاهری، خداکرم، ۱۳۷۸، »فلزکاری کاربردی کهن در تپه سگزآباد، در دشت قزوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی.

کتابنامه

- اخوان نیاکی، علینقی، ۱۳۴۸، فن شناخت فلزات، دانشگاه تهران.

- توحیدی، ناصر ۱۳۶۴، سیر تکاملی تولید آهن و فولاد در ایران و جهان، تهران، امیرکبیر.

- - جعفرزاده، اوم قربانی و م پزشکپور، ۱۳۷۴، زمین شناسی ایران، کانسارهای آهن، تهران، سازمان زمین شناسی کشور.

- حایری، یگانه، ۱۳۲۷، اصول‌گداز و استخراج فلزات، متالوژی عمومی، جلد اول، دانشگاه تهران.

- حایری، یگانه، ۱۳۲۷، اصول‌گداز و استخراج فلزات، جلد دوم، دانشگاه تهران.

- رید، ه،ه، ۱۳۶۲، شناخت و پیدایش کانسارها، ترجمه فرشید تقوی، تهران، انتشارات نامگان.

- طلایی، حسن، ۱۳۸۱، «تکنولوژی فلزگری کهن در تپه سگزآباد دشت قزوین» مجله دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران- زمستان ۱۳۸۱، شماره ۱۶۴، دور ۵۲، صص ۵۴۷-۵۶۴.

- مشایخی، عباس، ۱۳۴۳، مصالح صنعتی، دانشگاه تهران.

- وطن‌دوست، عباس، ۱۳۶۹، «گزارش مقدماتی بررسیهای علمی و حفاظت و نگهداری مجموعه برنزهای لرستان در موزه رضا عباسی»، مجله موزه‌ها، شماره ۱۰ و ۹، تهران، سازمان میراث فرهنگی کشور، صص ۹۱-۷۱.

- Cleuziou, Serge and Berthoud, Thierry: 1982, ((Early Tin in the near East)), Expedition, Vol. 25,No.1, p. 14-19.

- Horne, Lee , 1982, ((fuel for the metal worker)), Expedition, Vol. 25, No.1, p. 6-13.

- Moorey, p.R.S, 1982, Archagology and pre achae menid metal working in iran, IRAN, Vol. XX,p. 81-101.

- Moorey, P.R.Si 1994, Ancient Mesopotamia and industries, Clarendon press. Oxford.

- Piggot, V.C, 1982, ((The innoVation of iron)), Expedition, Vol. 25, No.1,P.20-25.

- Piggot, V.C, 1989, ((The Emergence of iron use at Hasanlu)), Expedition, Vol.31, No.2-3, p.67-79.

- Read, T.Thomas, 1934, ((Metallurgical fallacies in Archaeological cal literature)), American journal of Archaeology, Vol. 38, No.3 p.49-69.

- Wertime, A. Theodore, 1973, ((The Beginnings of metallurgy:A new look)), Science, Vol. 182, No. 4115, p.875- 885.

جدول شماره ۱ (برگرفته از: حایری، ج۲، ۱۳۲۷: ۲۴۴)

اسم کانی‌شناسی	اسم شیمیایی	فرمول شیمیایی	مقدار درصد آهن در سنگ خالص
هماتیت Hematite	اکسید آهن	$Fe_2 O_3$	70
مانیتیت Magnetite	اکسیدآهن مغناطیسی	$Fe_3 O_4$	72/4
لیموئیت Limonite	هیدرات اکسید آهن	$Fe_2 O_3 \times (oH)^2$	65-60
سیدریت Siderite	کربنات آهن	$FeCo_3$	48/3