



گروه ملی صنعتی فولاد ایران



انجمن آهن و فولاد ایران



دانشگاه شهید چمران اهواز

سمپوزیوم فولاد ۸۷  
۱۳ و ۱۴ اسفند ماه ۸۷  
اهواز - دانشگاه شهید چمران

## سگالشی در فناوری آهن سازی در ایران باستان

ناصر توحیدی<sup>۱</sup>، امید گنجی<sup>۲</sup>

- ۱- دانشکده متالورژی و مواد، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

### چکیده

در این مقاله معادن سنگ آهن، شیوه‌های اولیه آهن سازی و کاربرد آهن در ایران و جهان در دوران باستان نشان داده شده است. بررسی خواص شیمیایی و متالوگرافی آهن اسفنجی، روباره و پسماندهای کشف شده در منطقه ماسوله نشان می‌دهد که ناخالصی‌های متعددی از جمله آهک، سیلیس، منیزیت و آلومین در آهن اسفنجی وجود دارد. زیرا در آن دوران دمای کوره و اجاق‌های مستقر در دامنه تپه‌ها علی‌رغم استفاده از وزش باد برای احتراق سوختها، جهت احیای هماتیت و مگنتیت در حالت جامد کافی اما برای ذوب اغلب ناخالصی‌های همراه سنگ‌های آهن، کافی نبوده است. به این جهت فلز کاران آن دوران در کارگاه‌های اولیه ناخالصی‌های آهن اسفنجی را که ترد بودند از طریق چکش خواری و خرد کردن، از آهن فلزی، حذف و آهن فلزی با قابلیت چکش کاری مناسب تولید می‌کردند و قطعاتی به عنوان زینت آلات، ابزار و بست‌هایی به نسبت کوچک تولید می‌کردند.

**کلمات کلیدی:** استخراج کانسنگ ها و تولید فلزات در ایران باستان، آهن اسفنجی، سرباره و پسماند آهن اسفنجی، کشفیات آهنی در ماسوله.

<sup>1</sup>ntowhidi@ut.ac.ir

<sup>2</sup>omid\_forging@hotmail.com

## مقدمه

در ایران باستان فناوری تولید و کاربرد برخی از فلزات به صورت ناب از جمله طلا، نقره، مس و آهن (از شهاب سنگ ها) و سرب، قلع، روی و نیز آلیاژهای برنج و مفرغ به شیوه‌های اولیه شناخته شده بوده و قدمتی تا اواخر هزاره هفتم پیش از میلاد دارد، زیرا در اغلب نقاط ایران باستان کانسنگ این فلزات، وجود داشته است [۲۰۱]. مناطق معدن کاری آهن در دوران باستان در شکل ۱ و موقعیت کانسنگ‌های آهن در دوران مختلف سلسله‌های حاکم بر ایران و نیز مناطق معدنکاری و صنعت آهنگری در ایران باستان در جدول‌های ۱ و ۲ ثبت شده است. در دوره هخامنشی تمدن ایران به بالاترین درجه اعتلای خود رسید. در این دوره از آهن برای تولید فولاد استفاده و برای ساخت جنگ افزار، ساخت پل و استحکام ساختمان‌های تخت جمشید، استفاده می‌شده است و از آن دوره به بعد رشد آن فناوری‌ها متوقف و حتی از بین رفت.

در دوران باستان کانسنگ‌های آهن هم برای ساختن اجاق‌های اولیه و تزئین ساختمان‌ها و نیز تولید آهن اسفنجی به کار می‌رفته است. کاربرد گل اخرا (نرمة هماتیت و هیدرواکسید آهن قرمز رنگ) به عنوان پوشش و رنگامیزی ساختمانها از دو هزار سال پیش از میلاد در ایران باستان و هم اکنون نیز در بعضی از مناطق ایران (ایبانه و...) به کار می‌رود. دستیابی به سنگ‌های آهن غنی از مس از جمله در شاه بلاغ در جنوب زنجان، ماسوله در گیلان و گل گهر در نزدیکی نیریز در دوران باستان شناخته و استفاده می‌شده است. دمرگان در کتاب تمدن‌های اولیه، از صادرات سنگ آهن گیلان (ماسوله) و مازندران و غرب دریایچه ارومیه نام برده است. اوله ریوس می‌نویسد، که بهترین سنگ آهن ایران از ماسوله تأمین می‌شده است [۱ و ۴].

بشر اولیه اولین بار آهن را به صورت آلیاژ و از طریق شهاب سنگ‌های آسمانی<sup>۱</sup> می‌شناخت و آن را در دسترس داشت و از آنها زینت آلات و مصالح و ابزارهایی تولید می‌کرده است. این ادعا بر اساس تجزیه شیمیایی مصالح آهنی مکشوفه به دست آمده‌اند. قدیمی‌ترین آثار آهنی، تبر آهنی متعلق به ۳۰۰۰ پیش از میلاد در شهر اور (Uruk) در جنوب بین‌النهرین و ابزارهای آهنی متعلق به ۲۷۰۰ پیش از میلاد در هرم خنوپس به دست آمده است. دوره آهن در ایران نخست در ابرقو تا جیرفت در امتداد استان‌های فارس و کرمان شروع شده است. آثار باستانی کشف شده در اقصی نقاط ایران نشان دهنده سیر تکامل تجهیزات لازم برای آماده سازی و تولید فلزات فوق‌الذکر از جمله آهن از راه فرآیندهای احیا، آهنگری، عملیات حرارتی و پوشش کاری مصالح بوده است.

<sup>۱</sup> - شهاب سنگ‌ها معمولاً آلیاژی از آهن با ۶ تا ۱۵ درصد نیکل اند.

از آهن در ایران اولین بار در ۲۷۰۰ سال پیش از میلاد برای ساختن زینت آلات استفاده شده است. در کاوش‌های لرستان اشیای آهنی از جمله دستبند، پنجه بوکس، شمشیر و تبر (شکل ۸) متعلق به ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد و دهنه اسب و گرز متعلق به ۱۰۰۰ سال پیش از میلاد و در تپه سیلک نیز اشیای آهنی متعلق به ۱۴۰۰ سال پیش از میلاد و در تپه سیلک و حسنلو، چنگال‌های فولادی با قدمت ۸۰۰ تا ۷۰۰ سال پیش از میلاد و بست، میخ، تسمه متعلق به ۷۰۰ تا ۳۰۰ سال پیش از میلاد در دوره هخامنشیان در تخت جمشید و پاسارگاد یافت شده است. توده ای از سرباره کوره ذوب آهن در هنشک در نزدیکی ده بید (پاسارگاد) نیز کشف شده است.

تاریخ شناخت فن تولید آهن اسفنجی در نواحی مختلف در دوران باستان در جهان در جدول ۳ آمده است. در مجاورت اغلب معادن سنگ فلزات، پسماندهای ذوب اولیه کانسنگ ها و روباره ها وجود داشته و دارد. نشانه‌هایی از استخراج کانسنگ فلزات و کوره‌های ذوب از جمله برای تولید آهن و نیز سرباره، روباره و پسماندهای آنها در مناطق شمالی، مرکزی و شمالی ایران نیز به دست آمده و در دسترس است. تصویر کلوخه ای از آهن اسفنجی و نیز روباره‌های کشف شده در منطقه ماسوله در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

از تصاویر ۲ و ۳ و بررسی‌های آنالیز شیمیایی و نیز متالوگرافی نمونه‌هایی از روباره و کلوخه آهن اسفنجی منطقه ماسوله نتیجه گیری می‌شود که فناوری تولید آهن اسفنجی در این منطقه کاملاً شناخته شده بوده است [۴]، زیرا قابلیت احیای اکسیدهای آهن (هماتیت و مگنتیت) تقریباً مشابه مس است و در دوران باستان فناوری تولید مس از اکسیدهای آن شناخته بوده و آهن در دوران باستان به عنوان یک محصول جنبی در فرآیندهای تولید مس و سرب به دست می‌آمده است.

ذوب هماتیت و مگنتیت و نیز آهن به علت نیاز به دمایی بیش از ۱۵۳۶ درجه سانتیگراد در دوران باستان برای بشر آن دوران، امکان پذیر نبوده اما احیای سنگ‌های آهن در شرایط مناسب در کوره‌های مس و سرب ممکن بوده است. در گذشته سنگ آهن به عنوان جزئی از بار کوره‌های تولید مس مصرف می‌شده است. بر اساس تحقیقات و نظریه ورتایم، هرگاه دمای کار کوره‌های تولید مس به ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد برسد، اکسیدهای آهن موجود در بار کوره می‌توانست احیا و آهن اسفنجی تولید شود. به همین منوال، در فرآیندهای تولید سرب، تولید آهن از سنگ‌های آن امکان پذیر بوده است. احیای اکسیدهای آهن در دمایی به مراتب کمتر از دمای پیش بینی شده توسط اشمیت و ورتایم حتی در دمای کمتر از ۸۰۰ درجه سانتیگراد نیز ممکن است. روند آماده سازی کانسنگ آهن در شکل ۴ نشان داده شده است.

سنگ‌های آهن هماتیت و مگنتیت، در صورت تماس با کربن یا اکسید کربن در دمای حدود ۸۰۰ درجه سانتیگراد با سرعت نسبتاً زیاد، احیا و آهن فلزی تولید می‌شود. در جدول ۴، واکنش‌های احیای سنگ‌های آهن با زغال و اکسید کربن و نیز مناطق شکل دادن آهن اسفنجی نشان داده شده است. آهن اسفنجی قرن‌ها به عنوان تنها ماده اولیه مصالح آهنی به کار رفته است. این محصول گرچه حاوی مقداری کربن نیز بوده، قابلیت چکش‌خواری کافی داشته و برای ساخت اسلحه و ابزار مورد لزوم بشر اولیه استفاده می‌شده است. طرح اجاقی برای گداختن و احیای سنگ آهن و شیوه تولید آهن اسفنجی از سنگ‌های آهن گداخته در اثر چکش‌کاری در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

### تکامل کوره‌های ذوب و تولید آهن در دوران باستان

پس از دوران تولید آهن اسفنجی در اثر احیای سنگ‌های آهن مورد استفاده در اجاق‌ها، ساده‌ترین نوع کوره‌های آهن‌سازی، در ایران و جهان گودال‌های حفر شده در زمین به قطر و ارتفاعی حدود یک متر بودند. دیواره داخلی این کوره‌ها با ضخامتی حدود ۱۶ سانتیمتر از گل رس آستر بندی می‌شدند. در این نوع کوره‌ها نخست چوب را آتش می‌زدند و سپس چند کیلویی سنگ آهن را در آن بار و هوا به وسیله لوله‌هایی در آنها دمیده می‌شد. این کوره‌های گودال مانند در کشورهای هلند، بلژیک، لوکزامبورگ، سوئیس و نواحی مختلف آلمان کشف شده‌اند. هوای دم در این نوع کوره‌ها نخست از طریق نی و یا فوتنک و بوسیله دهان تزریق می‌شده‌اند.

با پیشرفت تجارب بشر هوای دم به جای نی و فوتنک توسط دم‌های دستی تأمین می‌شده است. این کیسه‌های دم به کمک انرژی عضلات دست یا پا، کار می‌کردند. در طول زمان با توسعه علوم مهندسی، هوای دم با تجهیزات پیشرفته تری که از پوست حیوانات از جمله پوست بز ساخته می‌شدند یا دم‌هایی که به استوانه و پیستون‌هایی چوبی مجهز بودند، تأمین می‌شد. از انرژی جنبشی آب به روش‌های مختلف نیز برای تأمین هوای دم استفاده می‌شد. گودال‌هایی که جهت تولید آهن در زمین حفر می‌شدند به مرور به شکل اجاق‌ها و تنورهایی در می‌آمدند که جهت سهولت در سطح زمین ساخته می‌شدند.

با آگاهی از نقش هوای دم برای دستیابی به درجه حرارت بالاتر، بشر اولیه گودالها و اجاق‌های تولید آهن را در دامنه تپه‌ها و یا محل‌های بادگیر، احداث و هوای دم از طریق مجراهایی به آن کوره‌ها، هدایت می‌شد. نمونه‌ای از این کوره‌ها در ماسوله کشف شده‌اند [۴]. در شکل‌های ۷ از چپ به راست به ترتیب رشد طراحی کوره‌های اولیه نشان داده شده است.

قابل توجه اینکه اغلب واحدهای متالورژی در ایران قدیم در حاشیه کویر قرار داشتند. در آن نواحی استفاده از چرخ‌های بادی متداولتر از چرخ‌های آبی بوده است، با این کوره‌ها دمای آهن اسفنجی

تولیدی برای خمیری شدن و کلوخه شدن کافی اما برای ذوب ناخالص‌های همراه سنگ آهن از جمله سیلیس، آلومین و منیزیت کافی نبوده است. آهن اسفنجی پس از پالایش مکانیکی، قابلیت چکش خواری و شکل پذیری کافی داشته است. برای بهبود انتقال حرارت، مواد و افزایش تولید به مرور زمان کوره‌های دمشی با توسعه علوم و فنون مرتفع تر شدند و این کوره ها به کوره‌های بلند، تبدیل شدند و دمای درون آنها افزایش یافت. شکل این کوره ها نیز با گذشت زمان تغییر و شکل تقریباً تخم مرغی بخود گرفت. از اولین کوره‌های بلند که در آنها آهن خام ذوب و در نتیجه امکان تولید مداوم آهن ممکن بوده، کوره بلند والون در بلژیک بوده که متعلق به اواخر قرون وسطی است.

### نتیجه‌گیری

فناوری تولید و کاربرد برخی از فلزات به صورت ناب از جمله طلا، نقره، مس و آهن (از شهاب سنگ‌ها) و تولید سرب، قلع، روی و نیز آلیاژهای مفرغ و برنج اولیه در ایران باستان شناخته شده بوده است. از دوران به خصوصی رشد فناوری در ایران باستان متوقف اما کوره ها و اجاق های اولیه در مناطق دیگر به کوره ها با دم‌هایی مجهز شدند که تامین دمایی بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد برای ذوب و حذف ناخالصی‌های همراه اکسیدهای آهن میسر می‌شد. اما هرگاه تامین دمای لازم برای ذوب ناخالصی‌های سنگ‌های آهن تامین نمی‌شد (که در دوران باستان در ایران چنین بود)، فناوری تولید آهن به شکل سنتی آن باقی می‌ماند و یا به مرور زمان فراموش شد. شناخت دلایل عدم رشد آن فناوری ها در دوران باستان حتی امروز می‌تواند برای رشد صنایع متالورژی ایران مفید باشد.

### مراجع

- [۱] ناصر توحیدی، سیر تکاملی تولید آهن و فولاد در ایران و جهان، موسسه انتشارات امیر کبیر، ۱۳۶۴.
- [۲] ناصر توحیدی، امید گنجی، علیرضا گنجی، "سگالشی در استخراج و تولید فلزات در ایران باستان"، دومین کنگره مشترک انجمن مهندسیین متالورژی و جامعه ریخته گران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ۲۷ و ۲۸ آبان ۱۳۸۷.
- [۳] و ای اسمیرنوف، ترجمه: کرامت اله علیپور، زمین شناسی اقتصادی ذخائر معدنی و طبیعی ایران.
- [۴] ناصر توحیدی، امید گنجی، علیرضا گنجی، "فناوری آهن سازی در منطقه ماسوله در دوران باستان" (مقاله در دست تدوین).

[5] George Agricola, De Re, Mrtallurica, Libri XII, Fouriervverlag, 1928.

[6] Leslie Aitchison, A History of Metals (vol1,2), Interscience Publishers, Newyork, 1960.

[7] www.irbme.ir.

جدول ۱. موقعیت کانسنگ‌های آهن در دوران مختلف سلسله‌های حاکم بر ایران [۳].

موقعیت معدن و ملاحظات	تاریخ	سلسله
شاه بلاغ زنجان، ماسوله گیلان، گلگهر نیریز (گریشمن)	۲۰۰۰ پیش از میلاد	پیش از تاریخ
قفقاز جنوبی، نیریز	۳۳۰ تا ۵۵۰ پیش از میلاد	هخامنشیان
---	۳۱۲ تا ۲۵۰ پیش از میلاد	سلوکیان
---	۲۵۰ پیش از میلاد تا ۲۲۴ میلادی	اشکانیان
پربا بین شیراز و کرمان	۶۵۱ تا ۲۲۴ میلادی	ساسانیان
کوه‌های اصطخر، کوه‌های بارز، خراسان، کرمان، ماوراء النهرین، بزرگترین معادن و کارگاه‌های آهن در فارس	۸۸۱ تا ۱۲۲۸ میلادی	طاهریان تا حمله مغول
کوه خواف قهستان، کوه فارن کرمان، صاهه و قطره فارس، معدن کوره طارمین و قزوین، هوبین کوه لر کوچک، گنجه اران، کلنبر آذربایجان	۱۲۲۸ تا ۱۵۰۱ میلادی	از حمله مغول تا صفویه
زوین، خراسان، مازندران، کردستان، آمل (ذوب آهن)، کارخانه ذوب آهن نادر نزدیکی آمل مازندران (افشاریه)	۱۵۰۱ تا ۱۷۷۹ میلادی	صفویه تا قاجاریه
آذربایجان (قراجه داغ)، گیلان (ماسوله)، قومس و طبرستان خراسان (مشهد)، دارالخلافه تهران، همدان، ملایر، کرمان مازندران (شاه کوه، گلناده، ناننج)، ۱۶ کوره ذوب آهن در ناحیه نور در نزدیک آمل	۱۷۷۹ تا ۱۹۲۴ میلادی	قاجاریه
شمس آباد اراک، شمال سمنان	۱۹۲۴ تا ۱۹۷۹ میلادی	پایان دوره قاجاریه تا انقلاب

جدول ۲. مناطق معدنکاری سنگ آهن در ایران باستان [۳].

معدن آهن	صنعت آهنگری	معدن صنعت آهنگری
آهنگران گناباد، سرخه دیزج شمال خاور زنجان، شاهرخت	آهنگران بهبهان، ساری، آهنگران شهر کرد، آمل، شاهرخت	آهنگران قم، آهنگر کلا، آهنگر کولا، آهن کوه، آهنگران کرمانشاه، آهنگران سبزه واران، فولاد کلا

جدول ۳. تاریخ شناخت فن تولید آهن اسفنجی در نواحی مختلف در دوران باستان (فورب) [۱].

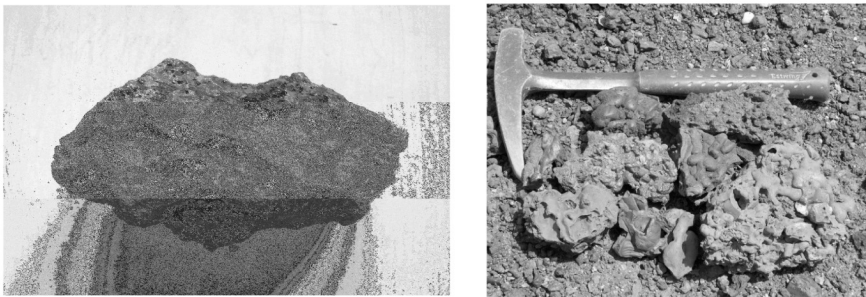
منطقه	ارمنستان	هیتیها	ایران	مصر
زمان (پیش از میلاد)	۱۹۰۰ تا ۱۴۰۰	۱۴۰۰ تا ۱۲۰۰	۱۲۰۰ تا ۱۱۰۰	۱۲۰۰ تا ۷۰۰
منطقه	یونان و قفقاز	آشور	اروپا	چین
زمان (پیش از میلاد)	۱۰۰۰	۹۰۰	۶۰۰	۵۰۰

جدول ۴. واکنش‌های مربوط به احیای اکسیدهای آهن و شکل دادن آهن در دوران باستان.

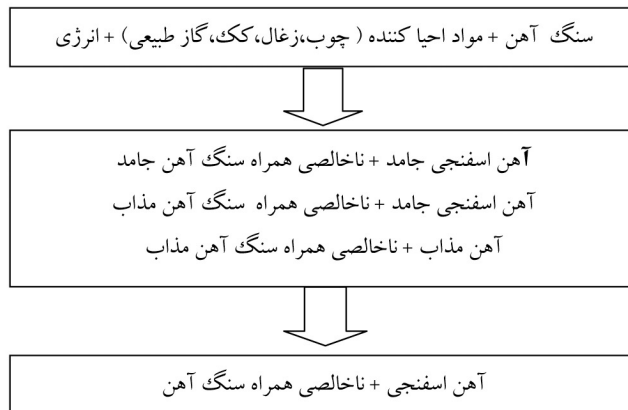
واکنش‌های جاری برای احیای اکسیدهای آهن تولید	تجهیزات تولید و شکل دادن آهن اسفنجی از طریق چکش کاری	
	محل کشف	قدمت (پیش از میلاد)
	ماسوله، زنجان	۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰
آناتولی، مصر	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	



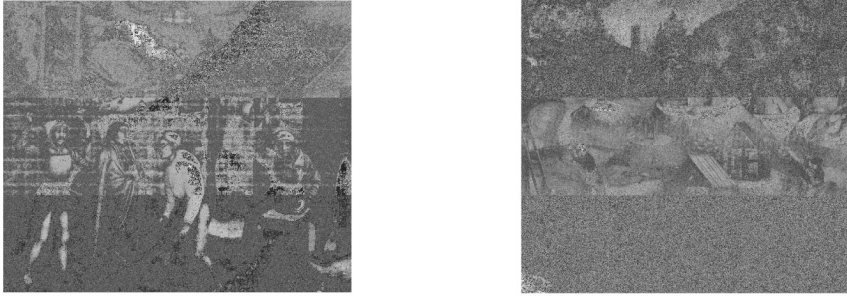
شکل ۱. مناطق معدنکاری در ایران باستان.



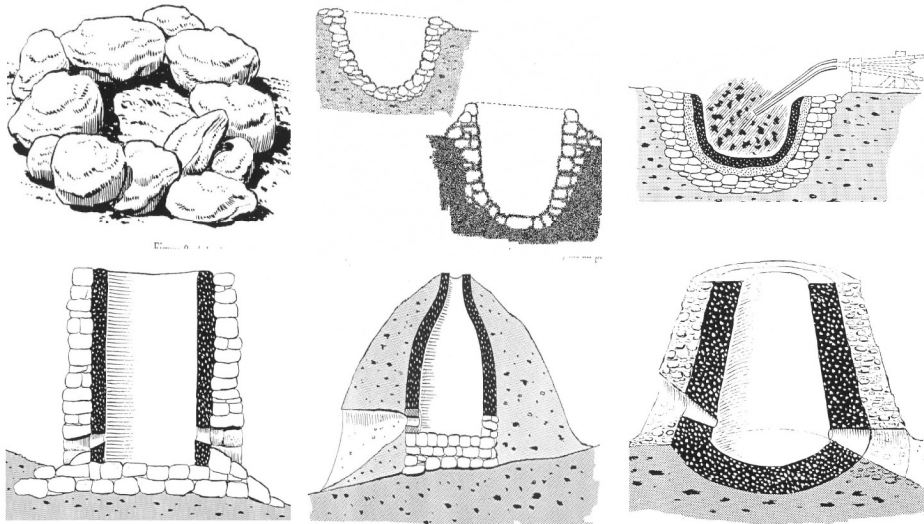
شکل ۲ و ۳. تصویر کلوخه روباره آهن (سمت راست) و کلوخه آهن اسفنجی کشف شده در ماسوله [۴].



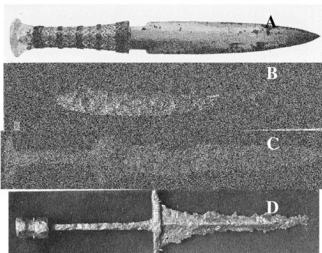
شکل ۴. فرآیند تولید آهن اسفنجی در دوران باستان [۱].



شکل ۵ و ۶. طرح اجاق‌هایی برای احیای سنگ آهن و پالایش آهن اسفنجی در اثر گداختن و چکش کاری [۵].



شکل ۷. طراحی کوره‌های تولید آهن اسفنجی [۶].



خنجرهای آهنی متعلق به ۱۵۰۰ سال پیش از میلاد  
A مصر، B و C و D ایران [۶].



تبر آهنی متعلق به عصر آهن  
[۷]. (سوئد)



تبر آهنی متعلق به ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد  
(لرستان)

شکل ۸. قطعات فولادی متعلق به دوران باستان.