Research in Chemistry Education
https://chemedu.cfu.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER

The use of different bio-carbonic materials to improve iron production from Fe_2O_3 in eleventh grade experimental science textbook

Hamed Nazarpour-Fard [1,*]

[1] *Chemistry Laboratory, Science Laboratories, Shahid Beheshti High School, District 1, Department of Lorestan Education, Iran*
* Corresponding author: (Nazarpoorfard@gmail.com)

ABSTRACT

The production reaction of iron from iron (III) oxide (hematite, Fe_2O_3) in industry is carried out by burning a mixture of hematite/carbon at high temperatures. Typically, in schools and student research laboratories, this experiment is conducted using the wood-sulfur method, where sulfur-coated wood sticks are immersed in the Fe_2O_3/Na_2CO_3 mixture and then ignited. The wood-sulfur experiment is mentioned as a laboratory experiment in the eleventh-grade experimental science book. The aim of this article is to find other carbon substitutes (such as laboratory carbon and organic materials like wood waste from carpentry and paper waste) for wood-sulfur and compare their performance. The results showed that the paper method (immersing paper in Fe_2O_3/Na_2CO_3) is preferred over the wood-sulfur method because the entire process is carried out by a single piece of paper, and depending on the paper dimensions, different amounts of the mixture can be used. In methods using carbon and wood waste (wood powder), the components of the mixture are combined together and form a paste-like consistency, which is then ignited. It is worth mentioning that the product obtained from the carbon method is purer qualitatively compared to other methods and contains less carbon because in the other three methods, a larger portion of carbon burns without participating in the reaction. Furthermore, in the carbon and wood waste method, a desired amount of paste can be made and used in several experiments, eliminating the need to repeat the manufacturing process for each experiment. Qualitative observations indicated that the iron production efficiency of these methods follows the order: wood-sulfur < paper waste < wood waste < laboratory carbon.

Keywords:
Iron production,
iron (III) oxide,
carbon,
wood waste,
paper waste.

Received: 05 February 2024
Revised: 19 March 2024
Accepted: 27 March 2024
Published online: 27 March 2024
PP: 26-36
ISSN (Online): 2717-2279

Citation: Nazarpour-Fard, H. (2024). The use of different bio-carbonic materials to improve iron production from Fe_2O_3 in eleventh grade experimental science textbook. *Research in Chemistry Education*, *6*(1), 26-36.
https://doi.org/ 10.48310/CHEMEDU.2024.15868.1187

پژوهش در آموزش شیمی، سال ششم، شماره اول، صفحات ۳۶-۲۶

پژوهش در آموزش شیمی
https://chemedu.cfu.ac.ir

مقاله پژوهشی

استفاده از منابع کربنی زیستی مختلف برای بهبود آزمایش تولید آهن از Fe_2O_3 در کتاب آزمایشگاه علوم‌تجربی پایه یازدهم متوسطه

حامد نظرپورفرد [۱،*]

۱. آزمایشگاه شیمی، آزمایشگاه‌های علوم‌تجربی، مدرسه استعدادهای درخشان متوسطه دوم شهید بهشتی، آموزش و پرورش ناحیه ۱، اداره کل آموزش و پرورش استان لرستان، ایران

* نویسنده مسئول: (Nazarpoorfard@gmail.com)

چکیده

واکنش تولید آهن از آهن (III) اکسید (هماتیت، Fe_2O_3) در صنعت، از طریق سوختن مخلوط هماتیت/کربن در دماهای بالا انجام می‌گردد. معمولاً در مدارس و پژوهش‌سراهای دانش‌آموزی، این آزمایش به روش چوب-کبریت انجام می‌شود که چوب‌کبریت‌ها به مخلوط Na_2CO_3/Fe_2O_3 آغشته شده و سپس، سوزانده می‌شوند. آزمایش چوب‌کبریت به عنوان یک آزمایش، در کتاب آزمایشگاه علوم تجربی پایه یازدهم، ذکر شده‌است. هدف از این مقاله، یافتن جایگزین‌های کربنی دیگر (کربن آزمایشگاهی و مواد زیستی، مانند ضایعات چوبی حاصل از نجاری‌ها و زباله‌های کاغذی) برای چوب‌کبریت، و مقایسه عملکرد آنها با همدیگر است. نتایج نشان داد که استفاده از روش کاغذ (آغشته‌سازی کاغذ با Na_2CO_3/Fe_2O_3) نسبت به روش چوب‌کبریت ارجحیت دارد چون کل فرایند توسط یک تکه کاغذ انجام می‌شود و بسته به ابعاد کاغذ، می‌توان مقادیر متفاوتی از مخلوط را استفاده کرد. در روش‌های استفاده از کربن و ضایعات چوبی (پودر چوب)، اجزای مخلوط با همدیگر ترکیب شده و به صورت خمیری‌شکل در می‌آیند و خمیر حاصل، سوزانده می‌شود. لازم به ذکر است که محصول حاصل از روش کربن، از نظر کیفی، خالص‌تر از دیگر روش‌ها و حاوی مقدار کربن کمتری بود چون در سه روش دیگر، بخش بیشتری از کربن بدون شرکت در واکنش، می‌سوزد. همچنین، در روش کربن و ضایعات چوبی، می‌توان مقدار دلخواهی از خمیر را ساخت و در چندین آزمایش، استفاده کرد، لذا برای هر آزمایش، نیاز به تکرار فرایند ساخت نیست. مشاهدات کیفی نشان داد که، بازدهی تولید آهن این روش‌ها، از ترتیب چوب‌کبریت > ضایعات کاغذی > ضایعات چوبی > کربن آزمایشگاهی پیروی می‌کند.

واژه‌های کلیدی:
تولید آهن،
آهن (III) اکسید،
کربن،
ضایعات چوبی،
ضایعات کاغذی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۸.
تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۰۸
شماره صفحات: ۳۶-۲۶
شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۷۹

ارجاع: نظرپورفرد، حامد (۱۴۰۳). استفاده از منابع کربنی زیستی مختلف برای بهبود آزمایش تولید آهن از Fe_2O_3 در کتاب آزمایشگاه علوم‌تجربی پایه یازدهم متوسطه. پژوهش در آموزش شیمی، ۶(۱)، ۳۶-۲۶.
https://doi.org/ 10.48310/CHEMEDU.2024.15868.1187

مقدمه

انجام آزمایش (آموزش عملی)، روشی خیلی مهم و کارآمد جهت حفظ فرآیند بصری تدریس، و اصولی کاربردی برای رسیدن هرچه بهتر به اهداف آموزشی در علم شیمی می‌باشد. انجام آزمایش در آموزش درس شیمی، جایگاه بسیار مهمی دارد و توجّه به مزایا و اثرات آن بر امر یادگیری، تمام قصور آموزش انتزاعی درس شیمی را پوشش خواهد داد. یادگیری بهتر دانش‌آموزان در بسیاری از مباحث کتب شیمی مقطع متوسطه دوم، نیازمند توجّه کافی و اجرای دقیق و موشکافانه دستورالعمل‌های هر آزمایش برای یادگیری بیشتر و عمیق‌تر مباحث تئوری است (احمدی و خدایی، ۱۳۹۹).

معمولاً در مدارس و پژوهش‌سراهای دانش‌آموزی، آهن (III) اکسید را به‌وسیله‌ی کربن موجود در چوب‌کبریت، به فلز آهن احیاء کرده و آن را استخراج می‌کنند. به عبارتی، چوب‌کبریت‌ها را به مخلوط Na_2CO_3/Fe_2O_3 آغشته کرده و سپس با استفاده از شعله، می‌سوزانند. یکی از مشکلات انجام آزمایش تولید آهن از Fe_2O_3 به این روش، این است که تک‌تک کبریت‌ها باید آغشته به مخلوط مربوطه و سپس سوزانده شوند که آزمایشی چندمرحله‌ای و کم‌بازده است. لذا، ما بر آن شدیم، روش‌های ساده‌تر و با بازدهی بالاتر به عنوان جایگزین روش چوب‌کبریت بکار گیریم که تعداد مراحل و هدر رفت مواد کمتری داشته‌باشد و در آزمایشگاه‌های مدارس و پژوهش‌سراهای دانش‌آموزی، قابل اجراء باشند (بازوبندی و همکاران، ۱۴۰۱).

یکی از روش‌های پیشنهادی برای حل مسئله فوق‌الذکر، این است که به عنوان جایگزین چوب‌کبریت، از دیگر منابع کربنی استفاده شود. به عنوان مثال، کربن آزمایشگاهی، ضایعات چوبی و ضایعات کاغذی برای تأمین کربن مورد نیاز جهت استخراج آهن از اکسید آهن، مورد استفاده قرار گیرند. کاغذ و پودر چوب را می‌توان از ضایعات و زباله‌های کاغذی تأمین کرد که این، خود یک حرکت در راستای حفاظت از محیط‌زیست است.

فولاد، آلیاژی از آهن و کربن است که از اکسید آهن در فرآیند تبدیل آهن به فولاد استفاده می‌شود. این فرآیند، با استخراج سنگ‌آهن (اکسیدهای آهن) از زمین و سپس فراوری آن، شروع می‌شود. در ادامه، این کانی‌ها به همراه کربن، سنگ آهک و سایر مواد لازم، در کوره و در محدوده ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ ^oC قرار می‌گیرند. در این شرایط دمایی، اتم‌های اکسیژن موجود در اکسید آهن، با کربن واکنش داده و در نتیجه منجر به آزادسازی کربن‌دی‌اکسید می‌گردد. آهن تولید شده، مذاب می‌گردد که در ادامه، از آهن مذاب، فولاد تولید می‌شود. فولاد عمدتاً با استفاده از کوره عمودی[1] یا کوره الکتریکی تولید می‌شود. کوره عمودی اولین مرحله در تولید فولاد از اکسیدهای آهن است که ابتدا در قرن چهاردهم (به صورت تولید یک تن در روز) ظاهر شد. در کوره عمودی، از کک (به عنوان منبع کربن)، سنگ‌آهن و سنگ‌آهک برای تولید آهن خام استفاده می‌شود. به طور سنتی، از زغال سنگ برای تولید کک مورد نیاز این فرایند، استفاده می‌شود.

هماتیت (Fe_2O_3) یک کانی قرمز یا قهوه‌ای مایل به قرمز از آهن است که معمولاً در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شود. رایج‌ترین سنگ معدن آهن، هماتیت است که در تولید آهن و فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. هماتیت همچنین به‌عنوان رنگ‌دانه در رنگ‌ها، پوشش‌ها و سرامیک‌ها به کار برده شده‌است (Opuchovic, ؛ Beukes, 2003 2015). علاوه بر این کاربردها، این نوع از اکسید آهن حتی در ساختار سلول‌های خورشیدی فتوالکتروشیمیایی نیز مورد استفاده واقع شده‌است (Shinde, 1977).

با استفاده از مواد کاهنده مختلف می‌توان اکسید آهن را احیاء کرده و آهن آن را استخراج کرد. به عنوان مثال، در یک کار تحقیقاتی در سال ۱۹۷۷، فرایند احیاء هماتیت با استفاده از گرافیت انجام شده‌است که یک دگرشکل (آلوتروپ) از کربن است (Srinivasan, 1977). علاوه بر گرافیت، انواع مواد کربنی را می‌توان برای انجام این فرایند به‌کار برد. از آنجا که دسترسی به کربن آسان است و صرفه اقتصادی بیشتری دارد، در شرکت‌های فولاد، برای استخراج آهن، از کربن به عنوان احیاءکننده استفاده می‌شود.

فرایند جداسازی آهن از Fe_2O_3 به‌وسیله‌ی کربن چوب‌کبریت که آزمایش شناخته‌شده‌ای (موجود در کتاب آزمایشگاه علوم‌تجربی پایه یازدهم) در مدارس و پژوهش‌سراهای دانش‌آموزی، است، یک فرایند استخراج فلز آهن در مقیاس کوچک است و حتی به صورت فردی توسط دانش‌آموزان قابل‌انجام است. این آزمایش می‌تواند راحت و سریع

[1] Blast furnace

انجام شود به شرط آن که وسایل و مواد شیمیایی درآزمایشگاه در دسترس باشد. با توجه به خاصیت مغناطیسی آهن، به آسانی می‌توان با استفاده از آهنربا، استخراج آهن و حضور آهن تشکیل‌شده در خاکستر حاصل را اثبات کرد زیرا ذرات آهن در حضور آهنربا، حرکت خواهند کرد و جذب آهنربا می‌شوند (به علت خاصیت فیزیکی مغناطیسی آهن). آهنربا بطور مستقیم در داخل محصول واکنش قرار گرفته‌نمی‌شود چون جذب آهنربا شده و به سختی می‌توان ذرات آهن را از آهنربا جدا کرد. به این منظور، آهنربا را با لایه‌یِ نازکی از یک فیلم پلاستیکی می‌پوشانند. لازم به ذکر است که سدیم‌کربنات در این واکنش نقش گدازآور را دارد و باعث کاهش نقطه‌ذوب آهن و اکسید آن می‌شود، در حالی که نقش چوب‌کبریت نیز تأمین کربن مورد نیاز برای جداسازی اتم‌های اکسیژن از Fe_2O_3 می‌باشد (بازوبندی و همکاران، ۱۴۰۱).

معادله واکنش کربن با Fe_2O_3 در حضور گرما را می‌توان به صورت معادله زیر نوشت که نشان می‌دهد عنصر کربن نسبت به آهن، تمایل بیشتری برای واکنش با اکسیژن دارد. بنابراین، کربن جایگزین آهن شده و باعث تولید CO_2، احیاء یون‌های آهن و تشکیل آهن فلزی می‌شود. اگر فرایند تولید آهن در دماهایی بالاتر از دمای ذوب آهن انجام شود، آهن تولید شده، ذوب می‌گردد و جداسازی آن نیز راحت‌تر است (بازوبندی و همکاران، ۱۴۰۱).

$$2Fe_2O_3\,(s) + 3C\,(s) \rightarrow 4Fe\,(l) + 3CO_2\,(g) \qquad (1)$$

هدف و پیشینه پژوهش

بر اساس مقدمه فوق الذکر، هدف کار تحقیقاتی حاضر، این است که در آزمایش استخراج آهن از آهن (III) اکسید (آزمایش موجود در کتاب آزمایشگاه علوم‌تجربی پایه یازدهم متوسطه دوم)، جایگزین‌های مناسبی برای چوب‌کبریت به عنوان منبع کربن، پیدا و با همدیگر مقایسه شوند. به این منظور، از برخی زباله‌های زیستی و کربن آزمایشگاهی استفاده شد و نتایج نشان دادند که ضایعات چوبی و کاغذی موجود در محیط‌زیست و کربن، جایگزین‌های مناسبی برای چوب‌کبریت هستند. این روش‌ها، مزایای زیادی نسبت به روش مرسوم چوب‌کبریت دارند و در آزمایشگاه‌های مدارس و پژوهش‌سراهای دانش‌آموزی نیز به‌راحتی قابل‌انجام هستند. علاوه بر این، انجام واکنش تولید آهن، به روش‌های مختلف، هم بر یادگیری دانش‌آموزان در درس شیمی موثر است و هم باعث تهییج بخش کنجکاوی و جستجوگری ذهن آنها می‌شود. همچنین، از هرکدام از این سه روش جدید ذکر شده در این مقاله نیز می‌توان به عنوان یک آزمایش جدید، برای ارائه به دانش‌آموزان، استفاده شود.

در سال ۲۰۲۲، سو[1] و همکاران، فرایند احیاء[2] اکسیدهای آهن به کمک سدیم‌کربنات را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی تحقیقاتی، ثابت شده‌است که سدیم‌کربنات منجر به تسریع سرعت احیاء کانی‌های آهن می‌شود. دلیل این تأثیر، این‌گونه گزارش شده‌است که سدیم‌کربنات باعث کاهش نقطه‌ذوب اکسید آهن می‌شود. در یک کار تحقیقاتی دیگر، سینتیک فرایند احیاء در مخلوط هماتیت/کربن در محدوده دمایی ۸۵۰ تا ۱۰۸۷ ^oC، بررسی شد. آزمایش‌ها تحت اتمسفر آرگون انجام شدند و کاهش وزن همدما[3] نمونه‌ها به عنوان تابعی از زمان، اندازه‌گیری شد. اثرات اندازه ذرات کربن، نسبت هماتیت/کربن و اثرات مواد تسریع‌کننده و بازدارنده نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، اثرات Li_2O و FeS بر این واکنش نیز مورد بررسی قرار گرفتند (Rao, 1971). در یک پژوهش دیگر در سال ۲۰۱۵، سنگ معدن هماتیت به صورت ساختارهای قرص‌مانند با استفاده از کربن جامد در کوره تحت دمای ۱۱۰۰ ^oC به مدت ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه تحت فرایند پیرولیز (سوختن/خاکستر شدن) قرار گرفت و نتایج آن، با دیگر روش‌ها مقایسه شد. علاوه بر

[1] Su
[2] Reduction
[3] Isothermal

این، روش مدل‌سازی ترمودینامیکی برای بررسی فرآیند تهیه آهن از طریق احیاء اکسیدهای آهن موجود در سنگ آهن با استفاده از زغال‌سنگ (به عنوان احیا کننده) مورد استفاده قرار گرفت. این مدل، قابلیت پیش‌بینی هزینه بهینه زغال‌سنگ (برندهای مختلف) مورد استفاده در این فرآیند را داشت. علاوه بر این، اثرات خواص فیزیکی و شیمیایی مواد کربنی مورد استفاده (زغال‌سنگ)، بر فرایند تولید آهن نیز مورد بررسی واقع شد. در یک پژوهش جالب دیگر که توسط یک پژوهش‌گر در آمریکا در سال ۱۹۷۷ انجام شد، میزان کاهش اکسیدهای آهن (Fe_2O_3 و FeO) به‌وسیله‌ی زغال چوب نارگیل، زغال‌سنگ و کک، در یک اتمسفر بی‌اثر در محدوده دمایی ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ ^oC مورد بررسی قرار گرفت. اثرات فشار، اندازه ذرات و مقدار کربن مورد بررسی واقع شد (Fruehan, 1977). علاوه بر این موارد، همانطور که در بالا ذکر شد، گرافیت نیز به عنوان ماده کربنی برای انجام این واکنش شیمیایی مورد استفاده شده‌است.

روش

مواد و تجهیزات:

آهن (III) اکسید (شکل ۱(پ)) که از نوع هماتیت (Fe_2O_3) بود و قرمز رنگ است (ساخت شرکت مِرک)، به عنوان منبع آهن مورد استفاده قرار گرفت. سدیم‌کربنات (شکل ۱ (ب)) که به عنوان کاهش‌دهنده نقطه‌ذوب آهن (III) اکسید و تسریع‌کننده واکنش، به کار برده شد نیز ساخت شرکت مرک بود. آهنربا برای تایید انجام واکنش استخراج آهن و جداسازی آهن، مورد استفاده واقع‌شد. علاوه بر این، استفاده از چراغ بونزن، به جهت سوختن مخلوط‌های تهیه‌شده در دمای بالا بود. همچنین، از کربن آزمایشگاهی (شکل ۱ (الف))، ضایعات/زباله‌های چوبی تولید شده در نجاری (شکل ۱ (ت))، ضایعات/زباله‌های کاغذی (شکل ۱ (ث)) نیز به عنوان منبع کربن برای جداسازی آهن بهره برده‌شد (شکل ۱). لازم به ذکر است که ظروف پتری، شیشه‌ساعت، قاشقک و هاون نیز جهت موارد لازم، مورد استفاده واقع شدند. تهیه خمیر در روش‌های پودر چوب و کربن، با استفاده از آب مقطر انجام شد.

شکل ۱- مواد استفاده‌شده در این بررسی تحقیقاتی، الف)کربن، ب) سدیم‌کربنات، پ) آهن (III) اکسید، ت) پودر ضایعات چوبی و ث) تکه‌ای از ضایعات کاغذی.

روش تولید آهن از Fe_2O_3 با استفاده از کربن و زباله‌های چوبی:

در روش‌های کربن و پودر ضایعات‌چوبی، مقادیری از مخلوط اکسیدآهن/سدیم‌کربنات را به صورت مجزا به کربن و پودر ضایعات‌چوبی، اضافه کرده و در هاون به اندازه کافی مخلوط شدند. اختلاط در هاون به اندازه‌ای انجام شد که اجزاء مخلوط به اندازه کافی، پودر و ریز شدند که این امر باعث افزایش سطح تماس و سرعت واکنش می‌شود. سپس با

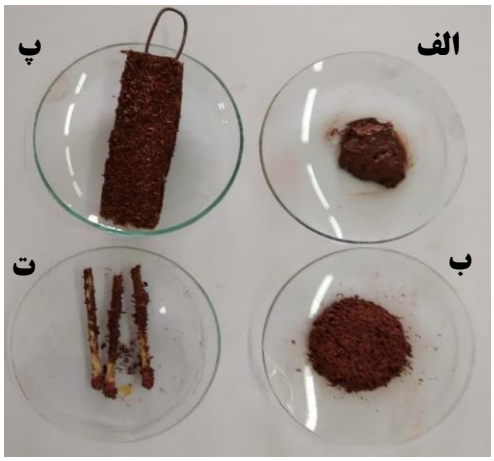
استفاده از مقدار کافی آب، هر کدام از مخلوط‌ها تبدیل به یک حالت خمیری‌مانند (شکل‌های ۲ (الف) و (ب)) شدند و سپس مخلوط مربوطه به صورت قرص، در آمد و بر روی شعله قرار گرفت. در نهایت، بعد از گذشت زمان کافی برای سوختن کامل مواد و خاکستر و گداخته‌شدن آنها (فرایند پیرولیز)، از روی شعله برداشته‌شدند و اجازه داده شد به دمای محیط برسند. سپس، محصولات حاصل، تبدیل به پودر شدند و به‌وسیله‌ی آهنربا، وجود آهن در محصول نهایی اثبات شد.

روش تولید آهن از Fe_2O_3 یا استفاده از زباله‌های کاغذی:

در روش ضایعات کاغذی، یک تکه کاغذ برش داده‌شده، به‌وسیله‌ی آب مرطوب شد. سپس، مقداری دلخواه از مخلوط Na_2CO_3/Fe_2O_3 بر روی طرفین کاغذ به صورت یکنواخت پاشیده‌شد. در نهایت، کاغذ آغشته به مواد (شکل ۲ (پ))، با استفاده از شعله، به اندازه کافی سوخته، خاکستر و گداخته شد. در نهایت، بعد از رسیدن آن به دمای محیط، محصول سوخته‌شده تبدیل به پودر شد و به‌وسیله‌ی آهنربا، وجود آهن در محصول نهایی اثبات شد.

یافته‌ها

در شکل ۲، تصویری از مخلوط‌های از پیش تهیه‌شده، دیده می‌شوند که قرار است تحت فرایند سوختن/خاکستر شدن قرار گیرند. خیلی از تفاوت‌ها و مزایا و معایب این روش‌ها را حتی از این تصویر می‌توان مشاهده کرد. همانطور که در شکل ۲ (الف) دیده می‌شود، مخلوط کربن/Na_2CO_3/Fe_2O_3 به صورت خمیری در آورده شده‌است. در شکل ۲ (ب) نیز مخلوط چوب/Na_2CO_3/Fe_2O_3 به صورت خمیری‌شکل مشاهده می‌شود. بعد از تهیه این مخلوط‌ها، می‌توان آنها را بر روی توری قرار داده و سپس بر روی شعله سوزانده‌شوند. شکل ۲ (پ) بیانگر این است که مخلوط Na_2CO_3/Fe_2O_3 بر روی یک تکه مستطیلی‌شکل از کاغذ، قرار گرفته‌است که این فرایند، به روش پاشیدن پودر، انجام شده‌است. در این روش از انجام آزمایش، می‌توان تمام اطراف کاغذ را با مخلوط مربوطه آغشته کرد. مشاهدات نشان داد که محصول سوخته‌شده نهایی نیز شکل خود را حفظ می‌کند و به صورت یک ساختار منسجم است که از هم پاشیده نمی‌شود. در شکل ۲ (ت) مشاهده می‌شود که چوب‌کبریت‌های مرطوب، آغشته به مخلوط Na_2CO_3/Fe_2O_3 شده‌اند. همانطور که دیده می‌شود، چوب‌کبریت به علت ساختار میله‌مانند و باریک خود، ظرفیت زیادی برای جذب پودر ندارد، لذا بازدهی کمتر دارد و هدررفت این روش نیز بالاست.



شکل ۲- شکل مخلوط‌های آماده‌شده برای سوختن در شعله: الف) مخلوط خمیری‌شکل کربن/Na_2CO_3/Fe_2O_3، ب) کاغذ آغشته به Na_2CO_3/Fe_2O_3، پ) مخلوط خمیری‌شکل پودرچوب/Na_2CO_3/Fe_2O_3 و ت) چوب‌کبریت‌های آغشته به Na_2CO_3/ Fe_2O_3.

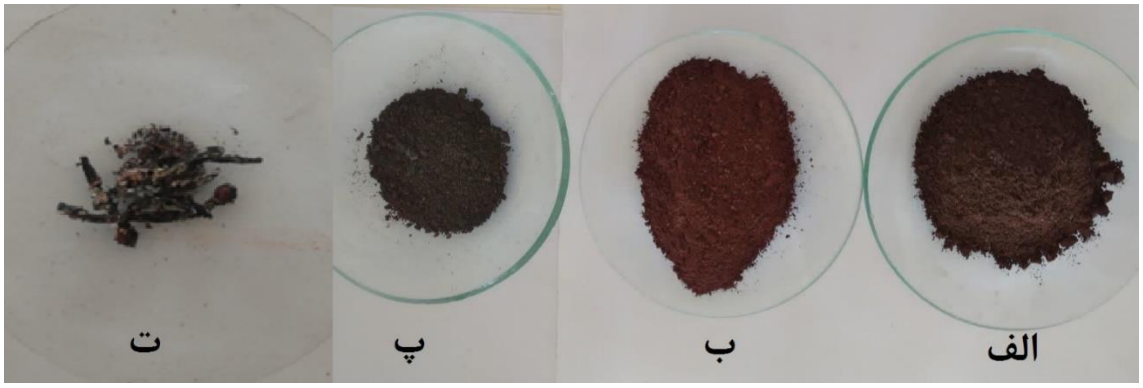
در شکل ۳ تصویری از مخلوط‌های خاکستر شده، آورده شده است. در شکل‌های ۳ (الف) و (ب) می‌توان دید که محصول نهایی روش‌های کربن و پودر چوب، به همدیگر شباهت دارند. به عبارتی، به صورت قرص‌های خاکستر شده دیده‌می‌شوند. بعد از اتمام فرایند خاکسترسازی، لازم است که این قرص‌ها از توری جدا شده و تبدیل به پودر شوند. در نگاه اول، در روش ضایعات کاغذی، اینگونه تصور می‌شود که وقتی کاغذ می‌سوزد، مخلوط موجود بر روی آن نیز ریخته می‌شود. اما همانطور که در شکل ۳ (پ) مشاهده می‌شود، مخلوط قرار گرفته بر روی کاغذ، شکل خود را حفظ کرده و به صورت یک تکه منسجم است، لذا لازم است که محصول نهایی تبدیل به پودر شود. اما در شکل ۳ (ت)، می‌بینید که ساختار چوب‌کبریت‌ها بعد از فرایند سوختن، از هم پاشیده می‌شود و طی فرایند سوختن باید مواظب بود که تکه‌های چوب‌کبریت سوخته‌شده، بر روی شعله و یا بر زمین نریزند.

این مشاهدات نشان می‌دهند که از نظر حفظ ساختار، روش‌های کربن، پودر چوب و ضایعات کاغذی، مشابه همدیگر هستند و محصول نهایی در این سه روش، ساختار حفظ‌شده دارد. بصورت کیفی مشاهده می‌شود که از بین همه روش‌ها، روش‌چوب‌کبریت دارای مزایای کمتر و معایب بیشتر است. اما از نظر خلوص محصول نهایی، روش کربن و پودر چوب نسبت به دیگر روش‌ها، دارای ناخالصی کربنی کمتری هستند که روش کربن از این نظر، از همه بهتر است. البته در روش ضایعات کاغذی با استفاده از ضخامت کمتر کاغذ، می‌توان مقدار ناخالصی کربنی محصول نهایی را کاهش داد. در زمینه کاغذ و چوب کبریت، هرچند هم نسبت استوکیومتری رعایت شود، محصول نهایی، کربن بیشتری دارد چون کربن سطحی آنها با اکسید آهن در ارتباط است و بخش عمده‌ای از کربن (مخصوصاً کربن غیرسطحی[1]) صرف واکنش نمی‌شود. اما در روش کربن، چون همه اجزا پودری هستند و بخش بیشتری از کربن، وارد واکنش می‌گردد، محصول نهایی حاوی محتوی کربن کمتری است.در روش ضایعات چوبی نیز با استفاده از مقدار کمتر پودر چوب و به عبارتی، به دست آوردن مقدار بهینه (نزدیک به مقدار استوکیومتری) پودر چوب، می‌توان باعث کاهش مقدار ناخالصی‌کربنی نهایی محصول شد.

شکل ۳- تصویری از محصولات حاصل از آزمایش‌های مختلف بعد از فرایند سوختن: الف) روش ضایعات چوبی، ب) روش کربن، پ) روش کاغذ و ت) روش چوب‌کبریت.

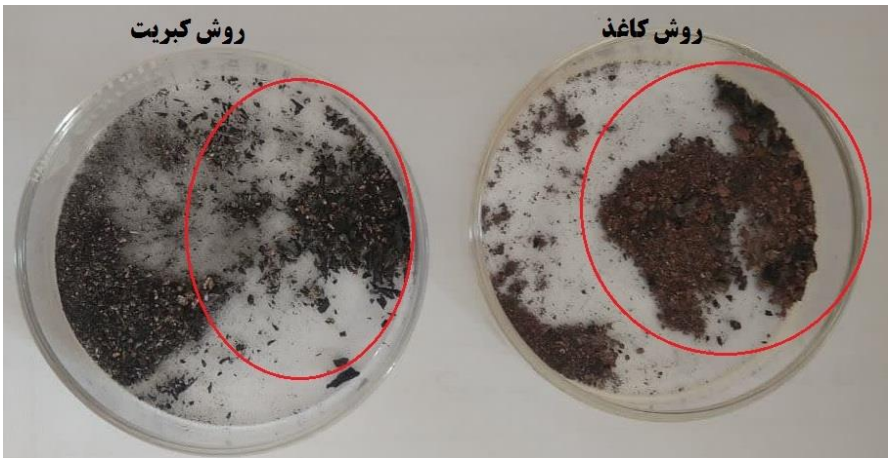
[1] Bulk

در شکل ۴، تصویری از محصولات نهایی پودر شده، آورده شده‌است. می‌بینیم که رنگ محصول حاصل از روش کربن (شکل ۴ (ب))، به وضوح، قرمزتر از دیگر محصولات است که این خود، بیانگر درصد کمتر ناخالصی کربنی در این محصول است. در روش پودر چوب (شکل ۴ (الف)) نیز قرمزی بیشتر و درصد کربن کمتری نسبت به روش‌های کاغذ (شکل ۴ (پ)) و چوب‌کبریت (شکل ۴ (ت)) دیده می‌شود.



شکل ۴- تصویری از محصولات پودر شده مختلف: الف) روش ضایعات چوبی، ب) روش کربن، پ) روش کاغذ و ت) روش چوب‌کبریت.

در شکل ۵، مقایسه‌ای دیگر بین روش ضایعات کاغذی و روش چوب‌کبریت ایجاد شده‌است. به عبارتی، تصویری از مقدار آهن جدا شده از روش کاغذ و چوب‌کبریت، در این شکل دیده می‌شود. واضح است که بازدهی روش کاغذ بیشتر است چون مقدار آهن بیشتری به‌وسیله‌ی آهنربا جدا شده‌است.



شکل ۵- الف) مقایسه کیفی آهن جدا شده به‌وسیله‌ی آهنربا در روش‌های کاغذ و چوب‌کبریت.

در شکل‌های ۶ (الف) و (ب) به ترتیب، تصاویر آهن استخراج‌شده از طریق روش‌های ضایعات چوبی و کربن، دیده‌می‌شود که به‌وسیله‌ی آهنربا جذب شده‌اند. واضح است که بازدهی این دو روش، بالا بوده و جذب این مقدار از محصول نهایی، می‌تواند برای دانش‌آموزان، جالب‌توجه باشد. در این تصویر نیز به وضوح، مقدار کربن بیشتر روش پودر چوب نسبت به روش کربن دیده می‌شود. لازم به ذکر است، روش پودر چوب، نسبت به روش کربن، منجر به تولید دود بیشتری در آزمایشگاه می‌شود.

شکل ۶- تصویر جذب محصول به آهنربا (بعد از فرایند سوختن): الف) روش پودر چوب، و ب) روش کربن.

بحث و نتیجه‌گیری

شیمی یکی از دروس مهم مقطع متوسطه دوم در آموزش و پرورش است که آموزش آن همواره دارای دشواری‌هایی بوده‌است و معلمان در جستجوی یافتن روش‌هایی برای افزایش و تسهیل یادگیری شیمی هستند. استفاده از کارهای عملی و انجام آزمایش‌ها در آزمایشگاه شیمی، راه‌حلی جالب‌توجه و مناسب برای افزایش میزان یادگیری این درس می‌باشد. تدریس تئوری همراه با آموزش عملی، می‌تواند منجر به تهییج قوه پژوهش و تفکر دانش‌آموزان شود و باعث تقویت امر یادگیری درس شیمی در آنها شود (بهرامی‌مداح و همکاران، ۱۴۰۲). آزمایشگاه، بخش مکمل و نقطه تمرکز آموزش علوم تجربی است که برای دانش‌آموزان، زمینه مشارکت در فعالیت‌های مرتبط با علم و یادگیری روش علمی را فراهم می‌کند. از آنجایی که بخش اعظم یافته‌های علوم تجربی از راه مشاهده و اجرای آزمایش به دست می‌آید، لذا بهترین راه یادگیری مؤثر این علوم، انجام آزمایش و مشاهده مستقیم پدیده‌های علمی است (رمضانیان و همکاران، ۱۴۰۱). در این مقاله، واکنش استخراج آهن از اکسید آهن با استفاده از سوختن آن در کربن، مورد مطالعه قرار گرفت. معمولاً در مدارس و پژوهش‌سراها برای تأمین کربن مورد نیاز این آزمایش، از چوب‌کبریت به عنوان ماده‌ای ساده و در دسترس، استفاده می‌شود زیرا که چوب‌کبریت دارای ساختارکربنی است و کربن لازم برای جداسازی اکسیژن از آهن (III) اکسید را فراهم می‌کند. به این منظور، چوب‌کبریت‌ها را به مواد مربوطه آغشته کرده و می‌سوزانند، سپس آهن تولیده شده را از خاکستر حاصل، جدا می‌کنند. در مطالعات تحقیقاتی مختلف، از انواع منابع کربنی برای انجام این واکنش استفاده شده‌است، لذا هنوز جای آن باقی است که تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود و دیگر منابع کربنی نیز مورد بررسی قرار گیرند.

در این کار تحقیقاتی، علاوه بر اینکه سه منبع کربنی به عنوان جایگزین چوب‌کبریت معرفی شدند، مقایسه‌ای نیز بین انواع منابع طبیعی کربنی برای استخراج آهن از آهن (III) اکسید، انجام شد. دریافت نتایج جالب‌توجه در این پژوهش، و موفقیت‌آمیز بودن کاربرد کربن آزمایشگاهی، ضایعات چوبی و کاغذی (که در محیط پیرامون ما به وفور دیده می‌شوند) در تولید آهن، بیانگر این است که این پژوهش می‌تواند ادامه‌دار باشد. به عبارت دیگر، به جهت تهییج قوه/استعداد پژوهشی دانش‌آموزان، می‌توان آنها را به سوی بررسی کاربرد بسیاری از منابع کربنی (به عنوان مثال، پوست تخمه آفتاب‌گردان) در آزمایش استخراج آهن از آهن (III) اکسید سوق داد. با توجه به اینکه معمولاً ضایعات کاغذی و چوبی، هر دو به عنوان زباله در محیط رها می‌شوند، این تحقیق و آزمایش، در راستای حفاظت از محیط-

زیست است و به عبارتی یک روش سبز و دوستدار محیط‌زیست می‌باشد؛ چون منجر به برداشتن ضایعات از محیط-زیست می‌شود. لازم به ذکر است که چوب و کاغذ زباله نیستند اما همانطور که مشاهده می‌شود، در خیلی از مکان‌ها این مواد ارزشمند زیستی به عنوان زباله رها شده‌اند. این پژوهش نشان داد که می‌توان هرکدام از این چهار روش را برای انجام آزمایش تولید آهن از آهن (III) اکسید در مدارس و پژوهش‌سراهای دانش‌آموزی مورد استفاده قرار داد. هر روش، جذابیت و ویژگی‌های خاص خود را دارد. با این وجود، خلاصه‌ی نتایج این مقاله را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱) این پژوهش باعث شد که یک آزمایش ساده (در کتاب آزمایشگاه علوم‌تجربی پایه یازدهم) به ۴ آزمایش تعمیم یابد که از هرکدام می‌توان به عنوان یک آزمایش مجزا برای آموزش و یادگیری بهتر مفاهیم شیمی، بهره برد.

۲) تمام این مواد کربنی از جمله چوب‌کبریت می‌توانند منجر به استخراج آهن از هماتیت شوند.

۳) آزمایش نشان داد که ضایعات کاغذی بهتر از روش چوب‌کبریت عمل می‌کنند چون روش کاغذ، هدر رفت کمتری دارد و حتی می‌توان آن را بدون نیاز به مرحله آغشته‌سازی (که در روش چوب‌کبریت لازم است) انجام داد. به عبارتی، می‌توان مواد را بر روی کاغذ مرطوب، پاشاند. همچنین، از یک تکه کاغذ برای انجام آزمایش استفاده می-شود، در حالی که در روش چوب‌کبریت از چندین چوب‌کبریت استفاده می‌گردد. لذا روش کاغذ، مراحل کمتر، سادگی بیشتر و بازدهی بالاتری نسبت به روش چوب‌کبریت دارد.

۴) روش ضایعات چوبی نیز روشی مناسب است که مزیت آن، این است که می‌توان مقداری از مخلوط ضایعات-چوبی/Na_2CO_3/Fe_2O_3 رو آماده و تبدیل به خمیر کرد و خمیر تهیه‌شده، در جلسات یا آزمایش‌های مختلف استفاده شود. به عبارتی، مخلوط مورد نیاز برای چندین آزمایش، طی یک مرحله تهیه می‌شود. اما در روش چوب‌کبریت و روش ضایعات‌کاغذی، در هر آزمایش، لازم است که چوب‌کبریت‌ها و یا کاغذ را آغشته به مواد کنیم.

۵) همچنین، چون در روش‌های پودر کربن و پودر چوب، از روش اختلاط استفاده می‌شود، نیازی به مرحله آغشته-سازی (که در روش‌های کاغذ و چوب‌کبریت لازم است) نیست.

۶) روش استفاده از کربن آزمایشگاهی یا صنعتی (تهیه‌شده توسط شرکت‌های مختلف تولید کننده مواد) دارای این مزیت است که نسبت به دیگر روش‌ها، محصول نهایی خالص‌تر است و به عبارتی، مقدار کربن کمتر و رنگ قرمزتری دارد که این رنگ قرمز بیانگر درصد کمتری از کربن و ناخالصی است. لذا به علت ناخالصی کمتر، فرایند جداسازی/خالص‌سازی آهن، بهتر و راحت‌تر از دیگر روش‌ها قابل‌انجام می‌باشد.

۷) در روش کربن نیز از روش اختلاط و ایجاد خمیر، استفاده می‌شود که برای چندین آزمایش، می‌توان طی یک مرحله، مخلوط آماده کرد.

۸) به صورت کیفی (مشاهده) مشخص شد که هدر رفت روش کربن نسبت به دیگر روش‌ها کمتر است و بازدهی تولید آهن بالاتری دارد.

۹) یکی از برتری‌های روش کربن نسبت به سه روش دیگر، می‌تواند این باشد که تولید دود کمتری در آزمایشگاه دارد.

۱۰) انجام یک واکنش/آزمایش به طرق مختلف، هم بر یادگیری دانش‌آموزان در درس شیمی موثر است و هم بر تقویت قدرت پژوهش آنها تأثیر دارد.

۱۱) این پژوهش مسیر جالبی را به روی ما باز کرد، یعنی در آینده می‌توان بررسی‌های مطالعاتی بیشتری بر روی کاربرد انواع منابع گیاهی و جانوری کربن (برای تولید آهن از آهن (III) اکسید) انجام داد. بی‌شک، این آزمایش را می‌توان به طرق مختلف انجام داد. لذا تصمیم دارم که در آینده، این آزمایش را به روش‌های دیگر نیز مورد مطالعه

قرار دهم و تحقیقات بیشتری بر روی روش‌های استخراج آهن از آهن (III) اکسید را مورد بررسی قرار داده و توسعه بخشم.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است».

COPYRIGHTS
©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

منابع

احمدی، یاور؛ خدایی، علیرضا (۱۳۹۹). مروری بر اهمیت آزمایشگاه و آموزش شیمی مبتنی بر آزمایش. پژوهش در آموزش شیمی، ۲(۲)، ۶۵-۵۳.

بازوبندی، محمدحسن؛ حریری، ابوالفضل؛ حذرخانی، حسن؛ خیاطان، محمدرضا؛ عالمی، اعظم؛ کامیابی، شریف. کتاب آزمایشگاه علوم‌تجربی (۲) پایه یازدهم دوره دوم متوسطه. سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری.

بهرامی‌مداح، امیر محمد؛ عظمت، جعفر؛ سرکان، زهره (۱۴۰۲). اهمیت آموزش شیمی از طریق کارهای عملی و نقش آن در فهم دانش‌آموزان. پژوهش در آموزش شیمی، ۴(۲)، ۳۵۴-۳۳۶.

رمضانیان، طاهره؛ گلستانه، مهشید؛ موسوی، سیدمحسن (۱۴۰۱). آموزش شیمی مبتنی بر آزمایش. پژوهش در آموزش شیمی، ۴ (۴)، ۵۰-۳۱.

Beukes, N. J., Gutzmer, J., Mukhopadhyay, J. (2003). The geology and genesis of high-grade hematite iron ore deposits. *Applied Earth Science*, 112(1), 18-25.

Fruehan, R. J. (1977). The rate of reduction of iron oxides by carbon. *Metallurgical Transactions B.*, 279-286.

Opuchovic, O., Kareiva, A. (2015). Historical hematite pigment: Synthesis by an aqueous sol–gel method, characterization and application for the colouration of ceramic glazes. *Ceramics international*, 41(3), 4504-4513.

Rao, Y.K. (1971). The kinetics of reduction of hematite by carbon. *Metallurgical Transactions*,1439-1447.

Shinde, S. S., Bansode R. A., Bhosale C. H., Rajpure K. Y. (1977). Physical properties of hematite α-Fe_2O_3 thin films: application to photoelectrochemical solar cells. *Journal of Semiconductors*, 32(1), 013001.

Srinivasan, N. S., Lahiri, A. K. (1977). Studies on the reduction of hematite by carbon. *Metallurgical transactions B.*, 8, 175-178.

Su, Z., Wang, J., Liu, S. (2022). Investigation of Na_2CO_3-assisted reduction of iron oxides: Corrosion mechanism of Na vapor medium. *Powder Technology*, 407, 117694.