

## بررسی کمی و کیفی پسماندهای تولید شده در صنایع فولاد

زهرا ضمیرایی<sup>\*1</sup>

Zamiraei@gmail.com

علی ناهد<sup>2</sup>

### Quantity and quality investigation of generated wastes at steel industries

Zahra Zamiraei<sup>1\*</sup>, Ali Nahed<sup>2</sup>

1- Environmental Research Institute, Academic Center for Education, Culture & Research (ACECR), 4144635699, Rasht, Iran

2- Construction & development of transportation infrastructure company (CDTIC), 4193883865, Rasht, Iran

#### Abstract

Regarding to the variety of uses of steel in the world and widening its scope of application with the advancement of technology, steel production has changed to keep pace with advances in technology, following the changes; producers have tried to raise productivity and use of cheaper energy and fuels due to its geographical environment. There are the wastes in different stages of steelmaking (coke making, iron making and steelmaking). The generated wastes in this industry are with hazardous substances such as heavy metals, according to the classifications of the wastes, are classified as hazardous wastes. Therefore, identification and analysis and management of such waste in these industries are essential. The release of aforesaid hazardous wastes in nature can be had issues and problems for the environment and human health ultimately exceed the acceptable environmental conditions. The proper management of hazardous wastes in order to reduce and control pollution of the environment is utmost importance.

**Keywords:** Waste management, Steel industries, Industrial wastes, Environmental pollution control

#### چکیده

با توجه به تنوع موارد استفاده فولاد در دنیا و گسترده شدن دایره مصرف آن همراه با پیشرفت تکنولوژی، تولید فولاد همگام با پیشرفت تکنولوژی، تغییرات بسیاری داشته است، که در پی این تغییرات، تولیدکنندگان سعی در بالا بردن بهره‌وری و استفاده از انرژی و سوخت‌های ارزان‌تر با توجه به محیط جغرافیایی خود کرده‌اند. در مراحل مختلف فرآیند فولادسازی (کک‌سازی، آهن‌سازی، فولادسازی) پسماندهایی تولید می‌شود. پسماندهای تولیدی در این صنعت با وجود مواد خطرناک از جمله فلزات سنگین، براساس طبقه بندی‌های موجود پسماندها، جز پسماندهای خطرناک طبقه بندی می‌شوند. به همین دلیل شناسایی و آنالیز و مدیریت چنین پسماندی در این نوع صنایع ضرورت دارد. رهاسازی پسماندهای خطرناک فوق‌الذکر در طبیعت می‌تواند در صورت تجاوز از شرایط قابل پذیرش محیط، مسایل و مشکلاتی را برای محیط زیست و نهایتاً سلامتی انسان در پی داشته باشد. لذا مدیریت مناسب این مواد زائد خطرناک به‌منظور کاهش و کنترل آلودگی محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** مدیریت پسماند، صنایع فولاد، پسماند صنعتی، کنترل آلودگی محیط زیست.

1- عضو هیات علمی، پژوهشکده محیط زیست جهاددانشگاهی، رشت، ایران

2- حوزه نظارت و کنترل پروژه های استان گیلان، وزارت راه و شهرسازی، ایران

مقدمه

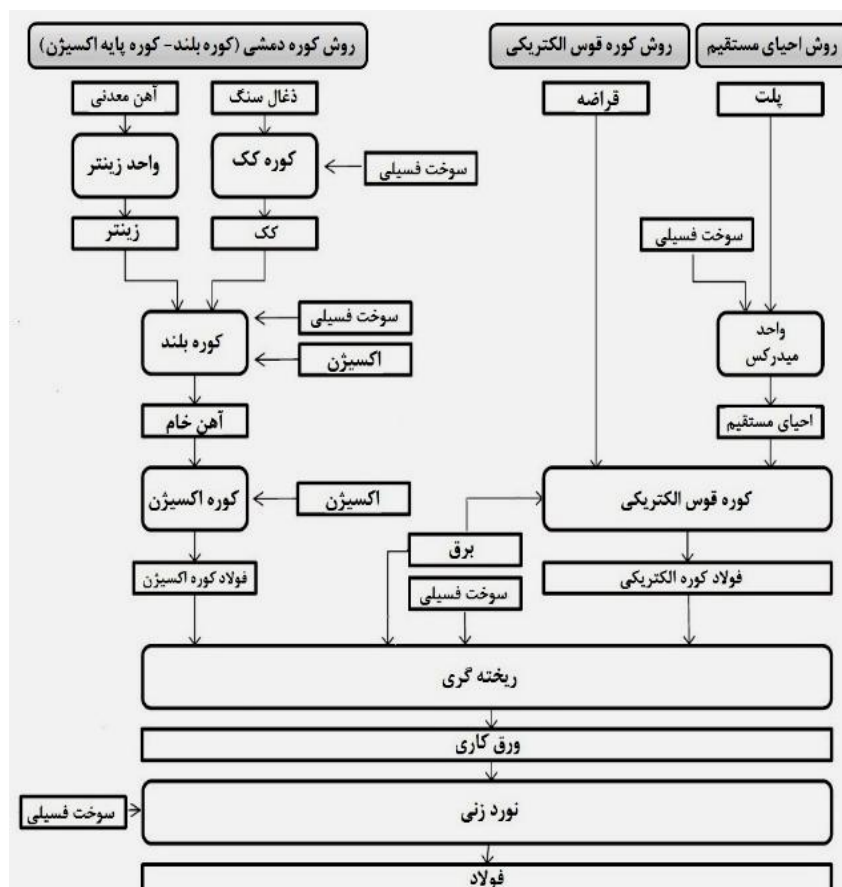
• ابداع و صنعتی شدن روش احیا مستقیم در اواخر دهه 60

میلادی [2]

فرآیند تولید فولاد نیازمند چند مرحله پی در پی است. امروزه دو نوع تکنولوژی برای تولید فولاد استفاده می‌شود، کوره اکسیژنی<sup>1</sup> (BOF) و کوره قوس الکتریکی<sup>2</sup> (EAF). اگرچه در این دو تکنولوژی از مواد ورودی مختلفی استفاده می‌شود، ولی خروجی هر دو نوع کوره، فولاد مذاب است که محصولات فولادی را تشکیل می‌دهد (شکل 1). مواد ورودی BOF، آهن مذاب، قراضه، و اکسیژن است. در EAF، برق و قراضه به‌عنوان مواد ورودی استفاده می‌شود. روش BOF معمولاً برای تولید تناژ بالای فولاد کربنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در حالی که EAF برای تولید فولادهای کربنی و آلیاژهای تناژ پایین و فولادهای ویژه استفاده می‌شود. فرآیندهای قبل از تولید فولاد در BOF بسیار متفاوت از کوره قوس الکتریکی است، اما مراحل پس تولید فولاد مذاب در هر دو روش یکسان است.

کلمه فولاد به آلیاژی گفته می‌شود که حداقل پنجاه درصد آن را آهن تشکیل می‌دهد و شامل یک یا چند عنصر دیگر می‌باشد. این عناصر معمولاً شامل کربن، منگنز، سیلیسیم، نیکل، کروم، وانادیم، مولیبدن، تیتانیوم، نیوبیم و آلومینیوم هستند [1]. پس از عبور بشر از مراحل ابتدایی تولید فولاد و آغاز عصر آهن بتدریج روش‌های صنعتی برای تولید این فلز به کار گرفته شد که به‌طور خلاصه بشرح ذیل می‌باشند:

- ساخت اولین کوره بلند در مقایسه صنعتی بر پایه استفاده از کک توسط آبراهم داربی در سال 1735 میلادی
- تولید فولاد به روش زیمنس - مارتین در سال 1840-1856
- تولید فولاد به روش بسمر (محیط اسیدی) در سال 1856
- تولید فولاد به روش توماس (محیط بازی) در سال 1878
- ساخت کوره قوس الکتریکی توسط پاول هرولت در سال 1900
- ابداع روش کنورتور اکسیژنی و ریخته‌گری پیوسته از سال 1940-1950 و تولید انبوه فولاد



شکل 1: روش‌های تولید فولاد [3]

<sup>1</sup> Basic Oxygen Furnace

<sup>2</sup> Electric Arc Furnace

آن فرمدهی و عملیات پایانی به عنوان تولید کامل یکپارچه تعریف می شود. در EAF، ماده ورودی در درجه اول قراضه فولاد است که با عبور جریان الکتریکی توسط الکترودها، قراضه ها ذوب و تصفیه می شود. فولاد مذاب از هر دو فرایند به صورت شمش و ورقه درآمده که به محصولات نهایی نورد می شود. عملیات نورد ممکن است نیاز به دوباره گرم کردن، لوله کردن، تمیز کردن و پوشش دادن فولاد داشته باشد [2].

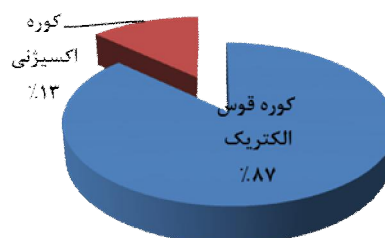
در فرایند اسیدشویی، سطح فولاد را به طور شیمیایی، از زنگ زدگی ها، و سایر مواد تمیز می کند. اسیدهای معدنی مانند اسید هیدروکلریک و اسید سولفوریک معمولاً برای اسیدشویی استفاده می شود. فولادهای ضد زنگ با اسیدهای هیدروکلریک، نیتریک و هیدروفلوریک غوطه ور می شوند. مایع اسیدشویی پس از مصرف، اگر حاوی اسید باقی مانده قابل توجه و غلظت بالایی از نمک های آهن محلول باشد جز پسماند خطرناک محسوب می شود. اسید شویی قبل از پوشش، ممکن است از حمام اسیدی ملایم استفاده شود که لزوماً خطرناک نیست. به طور کلی فولاد از حمام اسید شویی با چندین مرحله شستشو عبور می کند. پاک کننده قلیایی نیز ممکن است برای حذف روغن های معدنی و گریس و چربی ها از سطح فولاد قبل از نورد سرد مورد استفاده قرار گیرد. مواد تمیز کننده قلیایی معمول عبارتند از: سود سوزآور، خاکستر سود، سیلیکات های قلیایی، و فسفات ها. محصولات فولادی اغلب برای جلوگیری از اکسیداسیون پوشش داده می شود تا طول عمر محصول آن افزایش یابد. محصولات پوشش دار نیز می تواند برای مهار خوردگی بیشتر رنگ شود. فرایندهای پوشش معمول عبارتند از: گالوانیزه (پوشش روی)، پوشش قلع، پوشش کروم، آلومینه کردن و پوشش ترنه (سرب و قلع). فرایندهای پوشش فلزی شامل اندود کردن، پاشش فلز، روکش فلزی (برای تولید محصولات دو فلزی)، و آبکاری می باشد [7]. روند کلی تولید فولاد به طور خلاصه در شکل 3 نشان داده شده است.

#### 1- برآورد پسماندهای تولیدی در طول فرآیند فولادسازی

در ساخت فولاد به روش های BOF و EAF، از مواد کمک ذوب و آلیاژکننده ها استفاده می شود که ممکن است شامل: فلوریت، دولومیت و عوامل آلیاژی مانند آلومینیوم، منگنز باشد. پسماند جامد ناشی از فرآیند عمومی تولید فولاد شامل لجن کوره و غبار جمع آوری شده، با سرعت متوسط تولید 300 کیلوگرم/تن از ساخت فولاد تا 500 کیلوگرم/تن که 30 کیلوگرم آن ممکن است شامل مواد خطرناک متناسب با غلظت فلزات سنگین باشد. حدود 65% لجن BOF از ساخت فولاد می تواند در صنایع مختلف مانند مواد ساختمانی و در برخی موارد پشم شیشه بازیافت شود [7].

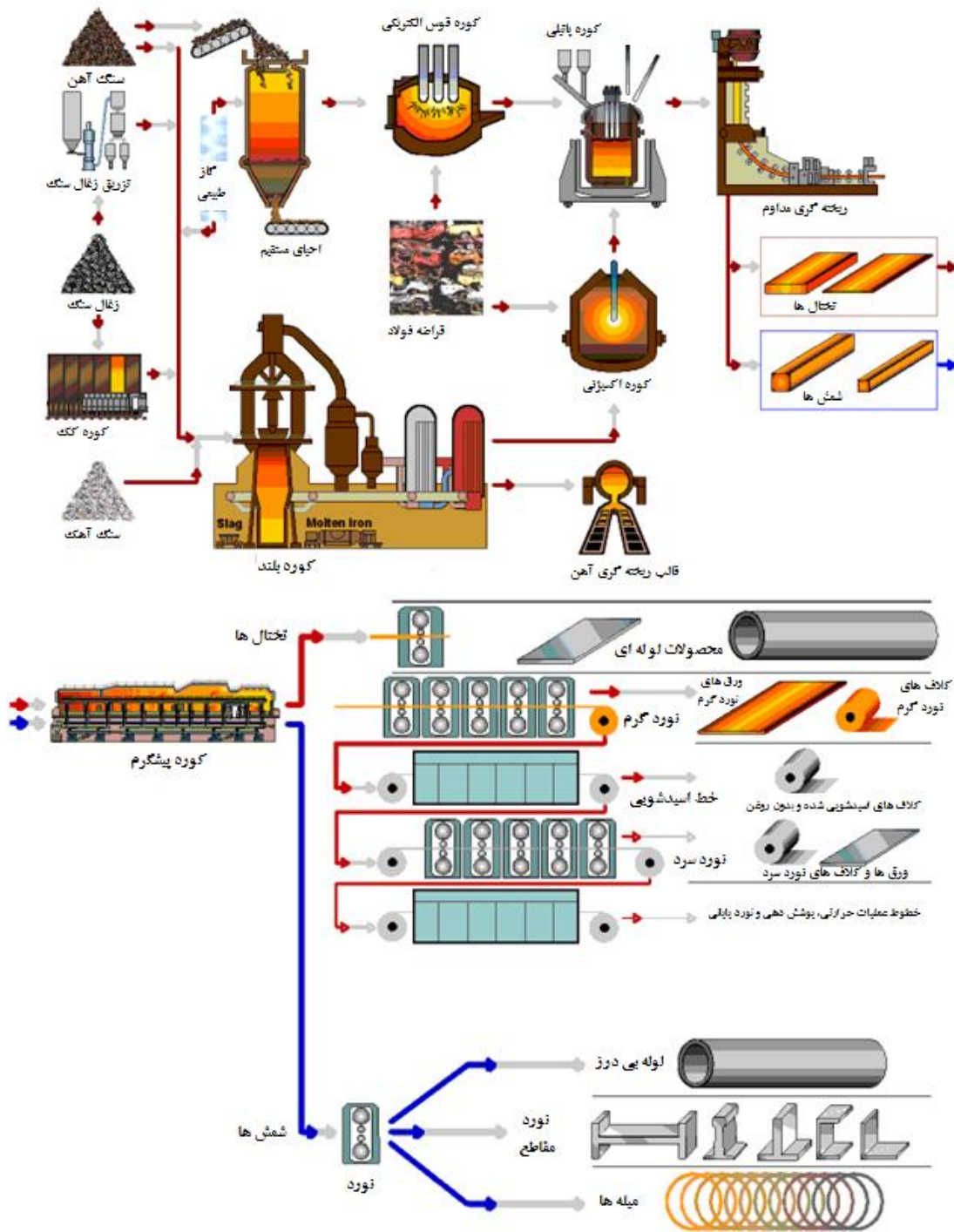
تولید فولاد به صورت کاهش شیمیایی سنگ آهن، یا یک فرایند کاهش مستقیم تعریف می شود. در فرآیند تولید فولاد به صورت متعارف، آهن حاصل از کوره بلند در BOF به فولاد تبدیل می شود. همان طور که اشاره شد، فولاد نیز می تواند در کوره قوس الکتریکی از قراضه های فولاد و در برخی موارد، از کاهش مستقیم آهن ساخته شود. در تکنولوژی جدید، فولاد به طور مستقیم از سنگ آهن تولید می شود. در فرایند BOF، ساخت کک و ساخت آهن، مراحل قبل از فولاد است درحالی که، این مراحل در EAF لازم نیست. آهن خام از توده سنگ معدن آهن (کلوخه یا اسفنجی) با استفاده از کک و سنگ آهک در کوره بلند تولید می شود. پس از آن به صورت مذاب همراه قراضه های فلزی، کمک ذوب، آلیاژها، و اکسیژن با خلوص بالا برای تولید فولاد به BOF وارد می شود. در برخی از کارخانه های تولید فولاد، کلوخه سازی (گرمایش، بدون ذوب) برای بهم بستن و سخت شدن سنگ آهن استفاده می شود [4].

براساس جدیدترین آمار منتشر شده انجمن جهانی فولاد، ایران در سال 2013 پانزده میلیون و چهارصد هزار تن فولاد خام تولید کرده که این رقم در سال 2012 برابر چهارده میلیون و پانصد هزار تن بوده و بنابراین تولید 6/2 درصد رشد داشته است که با این تناژ تولید ایران در رتبه 15 تولید کنندگان فولاد قرار دارد [5]. شکل 2 فرایند تولید فولاد در ایران را در سال 2013 نشان می دهد. همان طور که دیده می شود 86/9% فولاد تولیدی در ایران با استفاده از کوره قوس الکتریکی تولید می شود [6].



شکل 2- تولید فولاد خام در ایران براساس فرآیند تولید

در ساخت فولاد با استفاده از BOF، مراحل کک سازی و آهن سازی پیش از فولادسازی قرار دارد، این مراحل برای ساخت فولاد به روش EAF مورد نیاز نیست. کک، که منبع سوخت و کربن است، توسط گرم کردن زغال سنگ در غیاب اکسیژن در دمای بالا در کوره های کک تولید می شود. سپس با گرم کردن کک، سنگ آهن و سنگ آهک در کوره ذوب آهن، آهن خام تولید می شود. در BOF، آهن مذاب از کوره بلند با مواد کمک ذوب و فولاد قراضه ترکیب شده و اکسیژن با خلوص بالا تزریق می گردد. این فرایند، به همراه مراحل ساخت کک، ساخت آهن، فولادسازی، و پس از



شکل 3- تولید آهن و فولاد

متشکل از ذرات آهن، روی، و سایر فلزات مربوط به قراضه و کمک ذوب (آهک و / یا فلوریت) و سرباره ها [8]. بخش‌های پایانی و نورد که ممکن است شامل لجن فاضلاب حاصل از نورد، و عملیات شستشو که ممکن است حاوی کادمیوم، کروم و سرب باشد، روغن و گریس‌ها از نورد سرد و گرم، پساب‌های حاصل از حمام‌های شستشو (آب شستشو از فرآیندهای پوشش ممکن است حاوی روی، سرب، کادمیوم، و یا کروم باشد)، تراشه‌های

از پسماندهای ناشی از مراحل مختلف در فرآیند فولادسازی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کک‌سازی: لجن آهک، لجن قیری مخزن جداکننده، باقیمانده قیر، ترکیبات گوگردی (انتشار یافته از انباشته‌های کوره‌های کک) و ... فولادسازی: غبارهای کوره‌های اکسیژن بازی، لجن و پسماندهای حاوی فلزات، غبارهای کوره‌های قوس الکتریکی و لجن (به‌طور کلی، 20 پوند غبار به ازای هر تن فولاد انتظار می‌رود)، گرد فلزی

PM (در رنج کمتر از 15 کیلوگرم/تن تا 30 کیلوگرم /تن فولاد) باشد. برای سیستم‌های بسته، نشر گازها از مرحله گوگردزدایی بین کوره بلند و BOF؛ انتشار ذرات معلق در حدود 10 کیلوگرم/تن فولاد است [11].

در فرآیند عمومی بدون مسیر برگشتی، فاضلاب‌ها، شامل فاضلاب بخش عملیات‌های خنک‌کننده، با سرعت تولید متوسط 80 مترمکعب/تن فولاد تولید می‌باشد. آلاینده‌های عمده در فاضلاب تصفیه نشده تولید شده از بخش ساخت آهن خام عبارتند از: کربن آلی کل (معمولاً 100-200 میلی گرم/لیتر)؛ جامدات معلق کل (7000 میلی گرم/لیتر، 137 کیلوگرم/تن)؛ مواد جامد محلول؛ سیانید (15 میلی گرم / لیتر)؛ فلوراید (1000 میلی گرم/لیتر)؛ اکسیژن موردنیاز واکنش شیمیایی، یا COD (500 میلی گرم/لیتر)؛ و روی (35 میلی گرم/لیتر) [12].

آلاینده‌های عمده در پساب تولید شده از کارخانه فولاد با استفاده از BOF شامل جامدات معلق کل (بیش از 4000 میلی گرم/لیتر، 1030 کیلوگرم /تن)، سرب (8 میلی گرم / لیتر)، کروم (5 میلی گرم / لیتر)، کادمیوم (0/4 میلی گرم/لیتر)، روی (14 میلی گرم/لیتر)، فلوراید (20 میلی گرم / لیتر)، و روغن و گریس. مقدار قراضه‌های کارخانه ممکن است تا 33 کیلوگرم /تن فولاد باشد. خروجی این فرآیندها با دماهای بالا تولید شود [13].

پسماند جامد فرآیند عمومی شامل لجن کوره و غبار جمع آوری شده، با سرعت متوسط تولید 300 کیلوگرم/تن از ساخت فولاد تا 500 کیلوگرم /تن که 30 کیلوگرم آن ممکن است شامل مواد خطرناک بسته به غلظت حضور فلزات سنگین باشد. حدود 65% لجن BOF از ساخت فولاد می‌تواند در صنایع مختلف مانند مواد ساختمانی و در برخی موارد پشم شیشه بازیافت شود [14].

## 2- موازنه مواد در کارخانه فولاد

خروجی‌های بسیاری در هر یک از مراحل ساخت کک، آهن و فولاد، فرمدهی فلزات به اشکال پایه، و تمیز کردن و پوسته شدن سطوح فلزی تولید می‌شوند. بسیاری از این خروجی‌ها به همراه فرآیندهایشان، در جداول زیر دسته‌بندی و لیست شده‌اند.

فلزی حاصل از نورد پایانی ممکن است پسماندی با مشخصه کروم داشته باشد و همچنین پسماند روی.

پسماندهای تولیدی از فرآیند فولادسازی اکسیژنی عبارتند از: سرباره، مونوکسیدکربن، اکسیدهای آهن که به صورت غبار منتشر می‌شود. همچنین، هنگامی که آهن گرم به پاتیل یا کوره ریخته می‌شود، دوده‌های اکسید آهن آزاد می‌شوند، و مقداری از کربن در آهن به صورت گرافیت (به نام کیش) رسوب می‌کند. قسمت‌هایی از سرباره BOF که دارای فلز بالا می‌باشد می‌تواند برای استفاده در کوره‌های کلوخه سازی یا کوره بلند بازیابی و پردازش شود [9]. کوره‌های اکسیژنی مجهز به سیستم‌های کنترل آلودگی هوا، خنک کننده، و تمیزکننده گازهای داغ و بخارات میکرونی منتشر شده در طول فرایند می‌باشد. در این مرحله از آب برای خنک کردن و یا سردکردن گازها و بخارات برای رسیدن به درجه حرارت قابل استفاده در تجهیزات تصفیه گاز استفاده می‌شود. ضایعات حاصله از عملیات کنترل آلودگی شامل غبار و لجن تصفیه آب می‌باشد. معمولاً در حدود 1000 گالن آب به‌ازای هر تن فولاد در یک دستگاه تصفیه گاز مرطوب به منظور حذف موثر آلاینده‌های هوا استفاده می‌شود. آلاینده‌های اولیه گرفته شده از خروج گازها، TSS و فلزاتی مانند روی و سرب می‌باشد [10].

عملیات کلوخه‌سازی می‌تواند سطوح قابل توجهی از غبار در حدود 20 کیلوگرم در واحد تن (kg/t) فولاد منتشر کند. همچنین عملیات گندله‌سازی می‌تواند در حدود 15 کیلوگرم/تن فولاد غبار منتشر کند. نشر گازها به هوا در مراحل مختلف از جمله توده آهن در یک کوره بلند شامل ذرات ریز<sup>1</sup> (PM)، از کمتر از 10 کیلوگرم/تن تا 40 کیلوگرم/تن فولاد؛ اکسیدهای گوگرد (SOx) عمدتاً از کلوخه‌سازی و عملیات گندله‌سازی (1/5 کیلوگرم/تن فولاد)، اکسیدهای نیتروژن (NOx) به طور عمده از کلوخه‌سازی و پخت (1/2 کیلوگرم/تن فولاد)، هیدروکربن، مونوکسیدکربن، در برخی از موارد دیوکسین (عمدتاً از عملیات کلوخه‌سازی) و فلورید هیدروژن صورت می‌گیرد.

نشر گازها از تولید فولاد با استفاده از BOF ممکن است شامل

جدول 1- ورودی و خروجی فرایند ساخت آهن خام

ورودی	خروجی
سنگ آهن (عمدتاً در فرم گندله سنگ معدن)، کک، کلوخه، سنگ آهک، هوای گرم.	سرباره، که یا به صورت یک محصول جانبی برای استفاده در صنعت ساختمانی فروخته، و یا دفن میشوند.
	دی اکسید گوگرد یا هیدروژن سولفید باقیمانده.
	ذرات گرفته شده در غبارگیرها و یا ضایعات مرکز تصفیه لجن.
	آهن فلز غالب است که در فرآیند پساب یافت می‌شود.
	گاز کوره بلند (CO)

<sup>1</sup> Particular Matter

جدول 2- ورودی و خروجی فرایند کک سازی

ورودی	خروجی
کک، گرما، آب خنک کننده	مواد باقیمانده از فرایند بازیافت محصولات جانبی کک.
	محصولات جانبی گاز کوره کک مانند قطران زغال سنگ، نفت سبک، آمونیاک مایع، و باقی مانده جریان گاز به عنوان سوخت استفاده می شود. قطران زغال سنگ به طور معمول پالایش و به محصولات تجاری و صنعتی از جمله قطران، روغن کروزوت، قیر تصفیه شده، نفتالن و بیتومن تبدیل می شود.
	پخش بار (ذرات ریز کک تولید شده در کوره پوشینگ، نوار نقاله حمل و نقل، بارگیری و تخلیه کک که توسط غبارگیرها گرفته می شود. تقریباً 1 پوند در هر تن کک بصورت ذرات گرفته شده و در زمین دفن می شود.
	آمونیاک، فنول، سیانید و سولفید هیدروژن.
	لجن آهک، تولید شده از تقطیر آمونیاک
	لجن قیری مخزن جداکننده
	انتشار بنزن در عملیات بازیابی محصولات جانبی کک
	باقیمانده های نفتالین، تولید شده در برج خنک کننده نهایی
	باقیمانده قیر.
	ترکیبات گوگردی، انتشار یافته از انباشته های کوره های کک.
	فاضلاب حاصل از تمیز کردن و خنک کردن (شامل روی، آهک تقطیر آمونیاک، یا مخزن جداکننده قیر، باقیمانده تقطیر قیر).
	میعانات گازی کوره کک در لوله کشی و سیستم توزیع.

جدول 3- ورودی و خروجی فرایند فولادسازی

ورودی	خروجی
در فرآیند فولادسازی که از کوره اکسیژنی (BOF)، استفاده می شود	انتشار غبار کوره های اکسیژنی بازی و لجن، پسماندهای حاوی فلز.
ورودی ها شامل آهن مذاب، قراضه های فلزی، و اکسیژن با خلوص بالا است.	انتشار غبار کوره های قوس الکتریکی و لجن، به طور کلی، 20 پوند غبار به ازای هر تن فولاد انتظار می رود، اما بسته به نوع تولید و فولاد تولید شود.
در فرآیند فولادسازی که از کوره قوس الکتریکی (EAF)، استفاده می شود	قراضه ای که استفاده می شود ممکن است تا 40 پوند غبار در تن فولاد تولید شود.
ورودی های اولیه شامل قراضه های آهن، انرژی الکتریکی و الکترودهای گرافیت می باشد.	غبار فلزی (متشکل از ذرات آهن، روی، و سایر فلزات مربوط به قراضه و کمک ذوب) آهک و / یا فلوریت.
برای هر دو فرایند، مواد کمک ذوب و آلیاژها اضافه شده، و ممکن است شامل: فلوریت، دولومیت و عوامل آلیاژی مانند آلومینیوم، منگنز باشد.	سرباره
	مونوکسید کربن
	NO <sub>x</sub> و اوزون، که در طی فرآیند ذوب تولید می شوند.

جدول 4- ورودی و خروجی واحدهای شکل دهی، تمیزکاری، و پاک کننده رسوب در کارخانجات فولاد

ورودی	خروجی
فولاد کربنی در اسید هیدروکلریک اسیدشویی می شود؛ فولاد ضدزنگ با هیدروکلریک، نیتریک و هیدروفلوئوریک اسید اسیدشویی می شود	لجن فاضلاب حاصل از نورد، خنک کننده و پاک کننده رسوب، و عملیات شستشو که ممکن است حاوی کادمیوم، کروم و سرب باشد.
مواد شیمیایی آلی مختلف در فرآیند اسیدشویی استفاده می شود.	روغن و گریس ها از نورد سرد و گرم.
پاک کننده قلیایی برای حذف روغن های معدنی و چربی ها و روغن از سطح فولاد بکار می رود.	مایع غوطه ور سازی مصرف شده.
عوامل تمیز کننده قلیایی معمول عبارتند از سود سوزآور، خاکستر سودا، سیلیکات های قلیایی، فسفات ها.	لجن آبی شستشوی مایع غوطه ور سازی مصرف شده از عملیات تمیزکاری.
	فاضلاب حاصل از حمام های شستشو، آب شستشو از فرآیندهای پوشش ممکن است حاوی روی، سرب، کادمیوم، و یا کروم باشد.
	تراشه های فلزی حاصل از نورد پایانی ممکن است پسماند با مشخصه RCRA از کروم باشد.
	پسماند روی.

## 3- نتیجه گیری

از پسماندهای حاصل از مراحل مختلف در فرآیند فولادسازی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کک سازی: لجن آهن، لجن قیری مخزن جداکننده، باقیمانده قیر، ترکیبات گوگردی (انتشار یافته از انباشته‌های کوره‌های کک) و ...

در بخش آهن‌سازی، سرباره ها، دی اکسید گوگرد یا هیدروژن سولفید و ضایعات مرکز تصفیه لجن از جمله پسماندها هستند.

در بخش فولادسازی، پسماندهای تولید شده ممکن است شامل موارد زیر باشد:

غبارهای کوره‌های اکسیژن بازی، لجن و پسماندهای حاوی فلزات، غبارهای کوره‌های قوس الکتریکی و لجن، گرد فلزی متشکل از ذرات آهن، روی، و سایر فلزات مربوط به قراضه و کمک ذوب (آهک و/ یا فلوریت) و سرباره ها. بخش‌های پایانی و نورد که ممکن است شامل لجن فاضلاب حاصل از نورد، و عملیات شستشو که ممکن است حاوی کادمیوم، کروم و سرب باشد، روغن و گریس‌ها از نورد سرد و گرم، پسابهای حاصل از حمام‌های شستشو (آب شستشو از فرآیندهای پوشش ممکن است حاوی روی، سرب، کادمیوم، و یا کروم باشد)، تراشه‌های فلزی حاصل از نورد پایانی ممکن است پسماندی با مشخصه کروم داشته باشد و همچنین پسماند روی باشد.

رها سازی این پسماندهای خطرناک از پسماندهای فوق‌الذکر در طبیعت می‌تواند در صورت تجاوز از شرایط قابل پذیرش محیط، مسایل و مشکلاتی را برای محیط زیست و نهایتاً سلامتی انسان در پی داشته باشد. لذا مدیریت مناسب این مواد زائد خطرناک به منظور کاهش و کنترل آلودگی محیط زیست از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

## منابع

- [1] قاسم‌زاده، حسن، «آشنایی با صنعت آهن و فولاد»، انتشارات لوح فکر، تهران، 1392.
- [2] Chatterjee, A. (1995). Recent developments in ironmaking and steelmaking. *Ironmaking and Steelmaking*, Vol.22, No.2, PP.100-104.
- [3] نخعی، فردیس، نادری، مالک، ایران‌نژاد، مهدی، 1391. «روند جهانی تولید کنسانتره آهن و فولاد و ارائه روش‌های
- کاهش میزان انرژی مصرفی». دو فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره 19، ص 39 تا 50.
- [4] سعیدی، علی، ستوده، نادر، 1385. «تولید آهن»، جلد اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، اصفهان.
- [5] "World steel in figures 2014" (2014). World Steel Association, <http://www.worldsteel.org>.
- [6] Steel Statistical Yearbook 2014, (2014). Brussels: worldsteel Committee on Economic Studies.
- [7] Cheremisinoff, N.P. (2003). Handbook of solid waste management and waste minimization technologies. Butterworth-Heinemann, Elsevier Science (USA).
- [8] United States Environmental Protection Agency, (1995). EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the iron and steel industry. Office of Compliance, Office of Enforcement and Compliance Assurance, US Environmental Protection Agency, Vol. 5.
- [9] Das, B., Prakash, S., Reddy, P. S. R., Misra, V. N. (2007). An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.50, No. 1, pp.40-57.
- [10] Geny, P., Dohen, E. (1985). Measures against water pollution in the Iron and Steel Industry", *Association Technique de la Siderurgie Francaise, Wendel-Sidelor*, vol.54, pp.190-200.
- [11] Marsosudiro, P. J., Kimbrough, E. S., 1995. The use of regional economic models in air quality planning. *International Journal of Public Administration*, Vol. 18(1), pp.119 – 148.
- [12] Cakir, N., Olmez, G., Karanfil, T., Alp, E., Yetis, U. (2012). Hazardous waste generation from integrated iron and steel production in Turkey – evaluation of cleaner production options. *International Iron & Steel Symposium*, 02-04 April, Karabük, Türkiye.
- [13] Chohey, N. P., Hicks, T. G. (1984). Handbook of Chemical Engineering Calculations. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [14] Nayak, N.P. (2008). Characterization and Utilization of Solid Wastes Generated From Bhilai Steel Plant. PhD diss.