

# توانایی ایران در تولید اکسید آهن $Fe_2O_3$

(با نگرش به صنایع تولید فریت)

نویسنده و محقق: محسن نوربخش

۲۰۰۴

## مقدمه

اکسید آهن قرنهای متمادی است که بوسیله انسان مصرف می گردد، اکسید آهن طبیعی یکی از اولین منابع تهیه رنگدانه های قرمز است. منابع غنی اکسید آهن طبیعی در ایالات متحده، آمریکای جنوبی، چین، خلیج فارس، ترکیه، ایتالیا، آفریقای جنوبی متمرکز است. رنگ های اکسید آهن بسته به نوع فرمول شیمیایی متغیر است و شامل رنگهای قرمز، زرد و قهوه ای می باشد. هر کدام از رنگهای فوق نیز دارای گستره ای هستند. اندازه دانه ها در میزان تاریک و روشنی رنگدانه ها مؤثر است.

اکسید آهن ماده ای است ارزان قیمت که به سبب خصوصیات ویژه آن کاربردهای فراوانی دارد. تقریباً همه انواع رنگدانه های اکسید آهن نیازمندهای FDA را برای پلاستیکها یا رنگدانه ها و رنگهایی که در تماس با غذا می باشند را برآورده می نمایند. تقریباً همه آنها را می توان در صنایع کاغذ سازی استفاده نمود، برخی از آنها در صنعت لوازم آرایشی کاربرد دارند.

اکسید آهن طبیعی بسیار ارزان است و تقریباً در سراسر کره زمین موجود است. لیکن خصوصیات آن از منبعی به منبع دیگر و رگه ای به رگه ای متفاوت می باشد. حضور برخی ناخالصیها در اکسید آهن موجود در معادن سطحی می تواند آماده سازی آن را همواره با دشواریها بی روبرو نماید. گسترش صنعت و افزایش خواسته های جدید سبب شده تا پایداری، خلوص شیمیایی از اهمیت ویژه ای برخوردار گردد. اولین کوششها برای تهیه اکسید آهن مصنوعی به سال 1890 بر می گردد، در آن زمان کوشش گردید  $FeSO_4$  با آهن مخلوط شده و کلسینه گردد. در سال 1930 اولین فعالیتها برای تولید اکسید آهن زرد رنگ توسط محققین آلمانی انجام گرفت. امروزه اکسید آهن قرمز مصنوعی در Coating، پلاستیک، لاستیک، سرامیک، فریت و بسیاری کاربردهای دیگر استفاده می شود.

اکسیدهای آهن در برابر اسیدها و بازها مقاوم می باشند، از طرفی جاذب اشعه UV نیز هستند، نتیجتاً آنها چسب ها را در رنگ، کاغذ و دیگر محصولات در برابر تابش نور خورشید محافظت می نمایند و از شکسته شدن پیوندهای آلی و خروج اکسیژن در آنها جلوگیری می کنند. قیمت اکسید آهن قرمز حدود 0.1 تا 1.4 قیمت رنگدانه های آلی مشابه است. اکسید آهن قرمز می تواند با خلوص بسیار بالا نیز تولید شود، که در ساخت فریتهای نرم از اهمیت ویژه برخوردار است. اگر اکسید آهن را به عنوان کاتالیست مصرف نمائیم، خلوص شیمیایی آن شرطی الزامی است.

اکسید آهن زرد رنگ کاربرد وسیعی در صنایع رنگ سازی دارد. این بخاطر قیمت کم و دوام آن می باشد، اکسید آهن زرد دارای دانه های سوزنی شکل است. شکل دانه و فوق ریز بودن آنها مشخصه های کلیدی برای صنایع سازنده نوارهای مغناطیسی صوتی و تصویری هستند. از اکسید آهن زرد رنگ بطور گسترده بصورت ماده خام برای تبدیل به ذرات مغناطیسی سوزنی استفاده می شود، همچنین این ماده در صنایع ساختمانی مصرف می گردد. در صنایع ساختمانی از سیمانهای رنگی میتوان بجای آجر نما بهره برد.

در شکل زیر تصویر میکروسکوپ الکترونی اکسید آهن زرد را ملاحظه می نمائید:



در کشور ایران نیز منابع وسیعی از اکسید آهن طبیعی قرمز (ناحیه هرمز) و اکسید آهن زرد وجود دارد. همچنین اکسید آهن مصنوعی به صورت **by - Product** در مجتمع فولاد مبارکه اصفهان تولید می گردد. با توجه به گستره وسیع در روشهای تولید اکسید آهن قرمز مصنوعی کوشش می گردد، مروری کوتاه بر روی انواع روشهای تولید اکسید آهن داشته باشیم، سپس روش تولید اکسید آهن مصنوعی **Spray roasting** که در حال حاضر در کشور بیشترین سهم تولید اکسید آهن مصنوعی را دارد بررسی نمائیم. این مطلب از آن جهت اهمیت دارد که مجتمع فولاد مبارکه سالانه در حدود 3000 تن در بخش نورد سرد اکسید آهن (هماتیت) مصنوعی را به صورت **by - Product** تولید می نماید، که جزء ضایعات آن مجتمع می باشد. اساساً در صنعت فولاد سه نوع ضایعات اصلی وجود دارد:

۱- سرباره

۲- پوسته های نورد

۳- اکسید آهن **by - Product**

که مصرف آنها در سایر صنایع بسیار دشوار می باشد و یا نیاز به فرآیند آماده سازی طولانی دارد. بکارگیری ضایعات صنعت فولاد در صنایع دیگر می تواند گام مهمی در جهت کاهش آلودگیها محیط زیست و تولیدی با ارزش افزوده بالاتر باشد. واضح است برای حل هرگونه مشکلی ابتدا باید شناختی صحیح از آن داشته باشیم و سپس بر مبنای آن درک راه کارهای علمی مناسب را انتخاب نمائیم. در این متن کوشش می گردد، ضمن مرور روشهای تولید اکسید آهن، نگرشی مفصل نسبت به تولید اکسید آهن **spray roasting** داشته باشیم.

## مروری بر روشهای تولید اکسید آهن مصنوعی

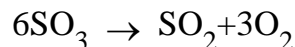
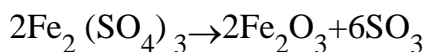
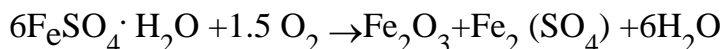
با توجه به تنوع محصول و روشهای تولید در این قسمت فرآیندهای مختلف تولید شرح داده میشوند. اکسید آهن میتواند بر اساس خواص فیزیکی مانند شکل ذرات طبقه بندی شود. در این متن اکسیدهای آهن بر اساس روش تولید طبقه بندی شده اند.

### ۱- اکسید آهن Copprous

این روش ابتدا در سال 1892 میلادی ابداع گردید، ولی عملاً طی دهه 1950 به دوران رشد و توسعه خود رسید. یکی از منابع اصلی تولید اکسید آهن قرمز تجاری روش استفاده از سولفات آهن با خلوص بالا و دمای کلسیناسیون بین  $900 \sim 1100^\circ\text{C}$  می باشد، فرآیند کلسیناسیون در طی دو مرحله اساسی انجام می گیرد. در مرحله اول مواد بطور جزئی آگیری می شوند و در مرحله بعد عملیات کلسیناسیون در دمای بالا انجام شده که منجر به تولید اکسید آهن Copprous می گردد. در طی دو مرحله، واکنشهای انجام شده به صورت زیر می باشند:



۲- تجزیه حرارتی

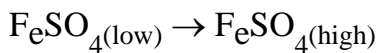


همانطور که مشاهده نمودید برای تهیه اکسید آهن Copprous دو مرحله واکنش حرارتی انجام می گیرد. در مرحله آگیری جزئی عمل آگیری در دمای  $140^\circ\text{C}$  انجام می شود به دنبال آن در مرحله دوم سه مرحله تجزیه حرارتی دیگر نیز رخ میدهد.

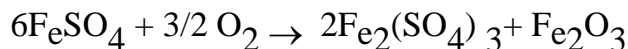
(a) از  $260^\circ\text{C}$  تا  $368^\circ\text{C}$  در آزمایش DTA پیک گرماگیر خواهیم داشت ماکزیمم آن در  $325^\circ\text{C}$  رخ میدهد، در این واکنش جرم زرد رنگ مشاهده می گردد که در آنالیز X-ray حضور کمی  $\text{FeSO}_4$  را نشان میدهد، نوع واکنش به صورت زیر است:



(b) از دمای  $480^\circ\text{C} - 560^\circ\text{C}$  یک روی هم افتادگی در پیکهای گرماگیر و گرمازا مشاهده می گردد. از بررسیهای انجام گرفته بوسیله X-ray می توان نتیجه گرفت واکنشهای ذیل رخ داده است:

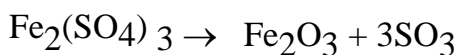


گرماگیر



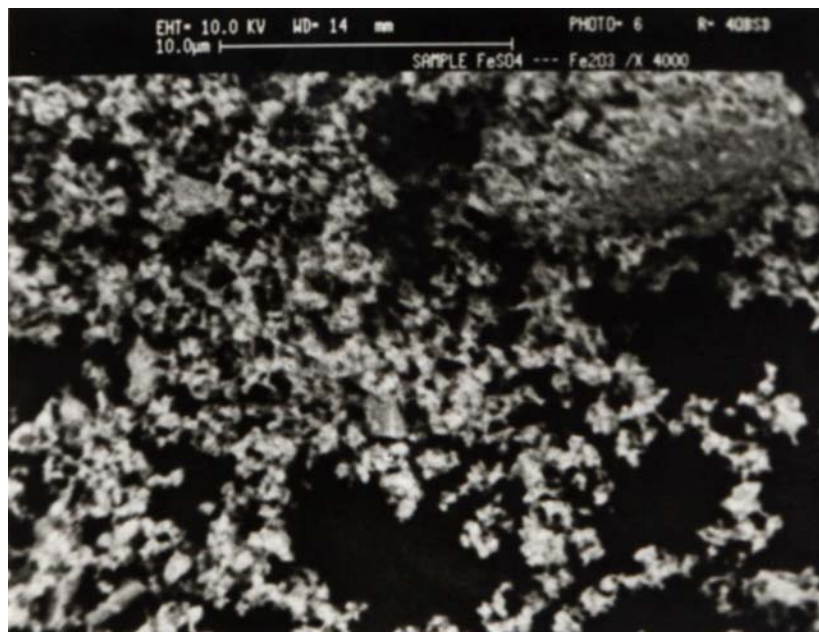
گرمازا

(c) از  $850^\circ\text{C}$  یک گرماگیر با ماکزیمم  $750^\circ\text{C}$  خواهیم داشت و واکنش آن به صورت زیر است:

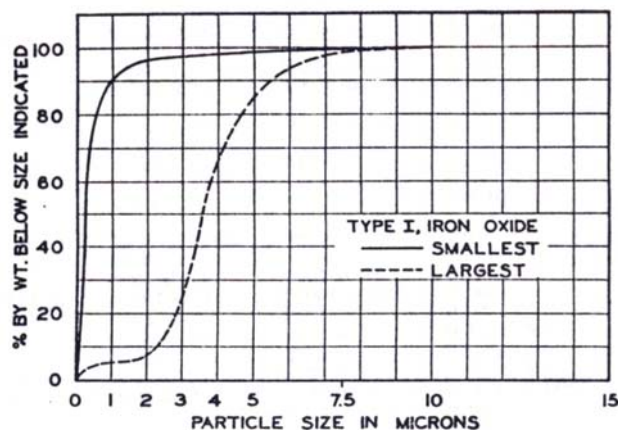


پس از بدست آمدن اکسید آهن محصول فوق شسته شده، خشک گردیده، آسیاب می شود و نهایتاً بسته بندی میگردد. علیرغم اینکه این روش ده ها سال روش اصلی در

تولید اکسید آهن قرمز بوده ولی از اوایل سال 1980 درکشورهای پیشرفته به تدریج کنار گذاشته شده است. عملیات پخت می تواند در یک کوره دوار و با سیستم حرارت دهی غیر مستقیم انجام شود ، نسوز جداره داخلی کوره دوار بخاطر تماس با محیط اسیدی باید از نوع آجرهای ضد اسید و مقاوم در دمای بالا باشند. آثار نامطلوب زیست محیطی ، هزینه تعمیر و نگهداری کوره دوار بعلت تعویض مکرر آجرهای نسوز زیاد میباشد ضمن آنکه راندمان کوره های حرارتی غیر مستقیم بطور کلی پایین است . در گذشته تصور می گردید شکل ذرات کروی می باشند ولی با بکارگیری میکروسکوپ الکترونی معلوم شد که شکل ذرات به صورت اشکال غیر قابل توصیف هستند . در شکل زیر یک نمونه آن نشان داده شده است :



اندازه ذرات اکسید آهن که بوسیله روش مذکور تولید می شوند بزرگتر از اندازه ذراتی است که بوسیله روشهای رسوب گیری تولید می گردند . توزیع تجمعی اندازه های اکسید آهن Copprous که بوسیله pipette اندرسون بدست آمده در زیر مشاهده می گردد :



سطح ویژه اکسید آهن می تواند به روش B.E.T اندازه گیری شود ، از نظر سطح ویژه گسترده گی زیادی وجود دارد ، اساساً وقتی از سطح ویژه صحبت می شود ، مساحت سطح تابعی از اندازه دانه است . توجه داشته باشید که این قول همیشه معتبر نیست . برای مشخص شدن این مطلب یک مثال عملی در طی یک آزمایش را ارائه می نمائیم . در یک آزمایش توزیع اندازه ذرات مشخص شده که 78% وزنی ذرات زیر  $0.5 \mu$  می باشد، در حالی که توزیع اندازه ذرات مربوط به روش دیگر تولید 68% وزنی را زیر  $0.5 \mu$  نشان داده است .

وقتی بر روی دو نمونه فوق آزمایش B.E.T انجام گرفت سطح ویژه نمونه دوم بیشتر از نمونه اول تعیین گردید . برای نمونه اول سطح ویژه  $10 \text{ m}^2/\text{g}$  و برای نمونه دوم سطح ویژه بیش از دو برابر است .

این موضوع نشان می دهد که نمونه دوم دارای ذرات پودر با تخلخل بسیار زیاد می باشد . سطح ویژه همیشه معیاری از ریزی دانه یا آهنگ واکنش پذیری نیست . اگر چه اکسید آهن نوع اول بالاترین سطح ویژه را ندارد ولی بطور وسیع در تولید فریت از آن استفاده می شود. چگالی تلنگری و چگالی ظاهری دو پارامتر فیزیکی هستند که در مورد مواد خام بطور وسیع بکار گرفته می شوند . چگالی تلنگری از  $0.3 \text{ g/ml}$  تا  $1.5 \text{ g/ml}$  تغییر می نماید . چگالی ظاهری نیز بوسیله Scott Volumeter تعیین می شود و نتیجه بر حسب  $\text{g/cm}^3$  یا  $\text{lb/cu.ft}$  اعلام می گردد و تغییرات چگالی ظاهری در اکسید آهن بین  $8 \text{ lb/cu.ft}$  تا  $30 \text{ lb/cu.ft}$  است . درصد باقی مانده روی الک 325 مش بوسیله استاندارد ASTM روش D-185-45 تعیین می گردد . مقدار مواد باقیمانده روی الک باید کمتر از 10% باشد .

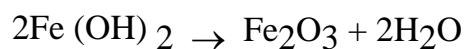
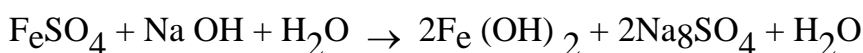
خلوص شیمیایی مواد خام که در صنایع تولید فریت استفاده می شوند از اهمیت ویژه ای برخوردار است . در یک آزمایش دقیق تر در مورد ترکیب شیمیایی نشان داده می شود که ناخالصیها با بالاترین مقدار  $\text{SO}_3$  ،  $\text{Mn}$  ،  $\text{CaO}$  ،  $\text{P}$  می باشند . منگنز در اکسید آهن Copprous به صورت  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  وجود دارد. اکسید آهنی که در اینجا به ویژه گیهای آن اشاره گردید ، دارای خلوص بالایی است ، که از نظر تجاری برای صنایع تولید فریت در دسترس می باشد .

## ۲- اکسید آهن بدست آمده طی فرآیند رسوب گیری :

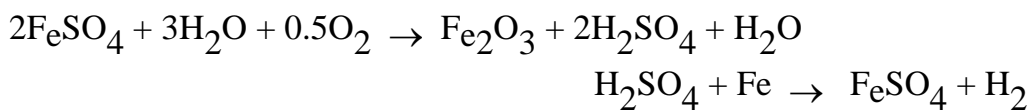
در این روش اکسید آهن در محیط آبی تولید می شود . واکنش شامل مرحله جوانه زنی و رشد دانه است . در مرحله جوانه زنی از واکنش نمک آهن و قلیا Seed nucleus تشکیل می شود .

Seed nucleus در حضور نمک آهن و قراصه آهن رشد داده می شوند . آهن حل شده روی هسته های اولیه راسب گشته و سبب می شود ، آنها از نظر اندازه دانه رشد نمایند . اندازه دانه ، نوع رنگ قرمز را از نظر روشن یا تیره بودن آن کنترل می نماید . سرانجام اکسید آهن فیلتر شده و بعد خشک می گردد . ساختمان کریستالی اکسید آهن در این روش ریموهدرال است . در فرآیند رسوب گیری ذرات نرم dispersible هستند .

واکنش تشکیل Seed nucleus



Nucleus



### ۳- اکسید آهن حاصل از کلسیناسیون $\text{Fe}_3\text{O}_{4+x}$

در روش مذکور آلاینده های محیط زیست وجود ندارند . مقدار اکسیژن نیز قابل کنترل است . از طرفی اکسید آهن را می توان از ضایعات کارخانجات فولاد تأمین نمود . در حال حاضر اکثر شرکتهای ژاپنی و آلمانی نظیر بایر اکسید آهن خود را به این روش تهیه می نمایند و روشهای موضوع بند ۱ را کنار گذاشته اند . روش مذکور در جهان پیشرفت در خور توجهی یافته است و به این وسیله رنگدانه های قرمز اکسید آهن را میتوان در گستره ای وسیع از تیره تا روشن تهیه نمود .

### ۴- تولید اکسید آهن به روش **Spray roasting**

تا سال 1950 شستشو با اسید سولفوریک روش پوسته زدایی استاندارد برای محصولات فولادی بود . در آن زمان مصرف محلول اسید باطله یک مشکل دشوار محیط زیستی بود . زیرا این محلولها قابل مصرف نبودند (محلول رضایت بخشی نیز وجود نداشت) . با افزایش تولید فولاد در اروپا و آمریکا ، از بین بردن فاضلابهای صنعتی حاصل از اسید شویی به صورت یک مشکل زیست محیطی خود نمایی می کرد ، تا آن زمان راه حل مناسبی برای بر طرف نمودن این مسئله ارائه نشده بود . در سال 1952 کمیته عملیات صنعت فولاد که زیر مجموعه کمیته بهداشت آب رودخانه اوهایو در کشور آمریکا بود ، تصمیم گرفت پایلوتی را طراحی نموده که در آن فرآیند بازیافت مایعات حاصل از اسید شویی طی دو مرحله انجام می گرفت . پس از پایان عملیات در مرحله دوم اسید بازیافته شده می توانست دوباره مصرف شود .

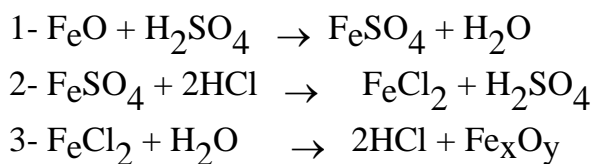
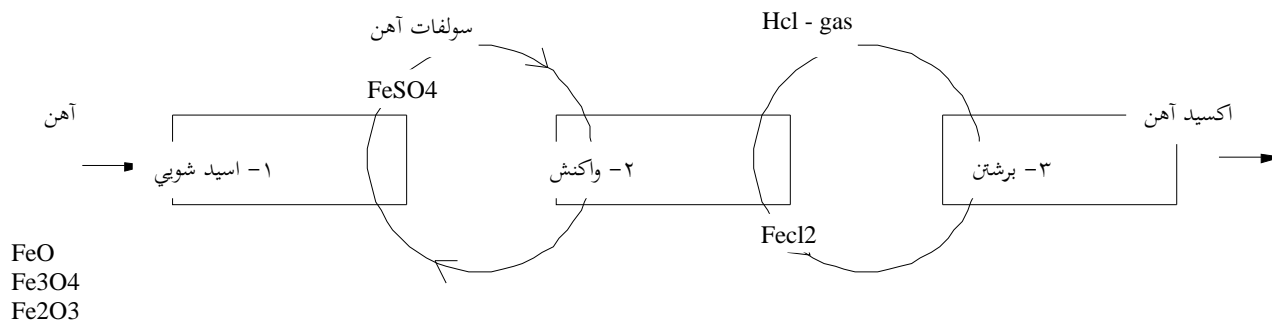
این روش بوسیله Ruthner و Rlaw-knox ابداع شد ، و هزینه ساخت آن توسط شرکتهای تولید کننده فولاد بنامهای

- 1- Republic Steel
- 2- Jones Laughlin
- 3- National Steel
- 4- Pittsburgh Steel

- 5- U.S.Steel
- 6- Wheeling Steel
- 7- Youngstown Steel
- 8- Tubeaud Blaw-Knox

تقبل گردید .

شکل زیر فرآیند اولیه در سال 1953 برای بازیافت مایعات اسید شویی ( $H_2SO_4$ ) را نشان میدهد :

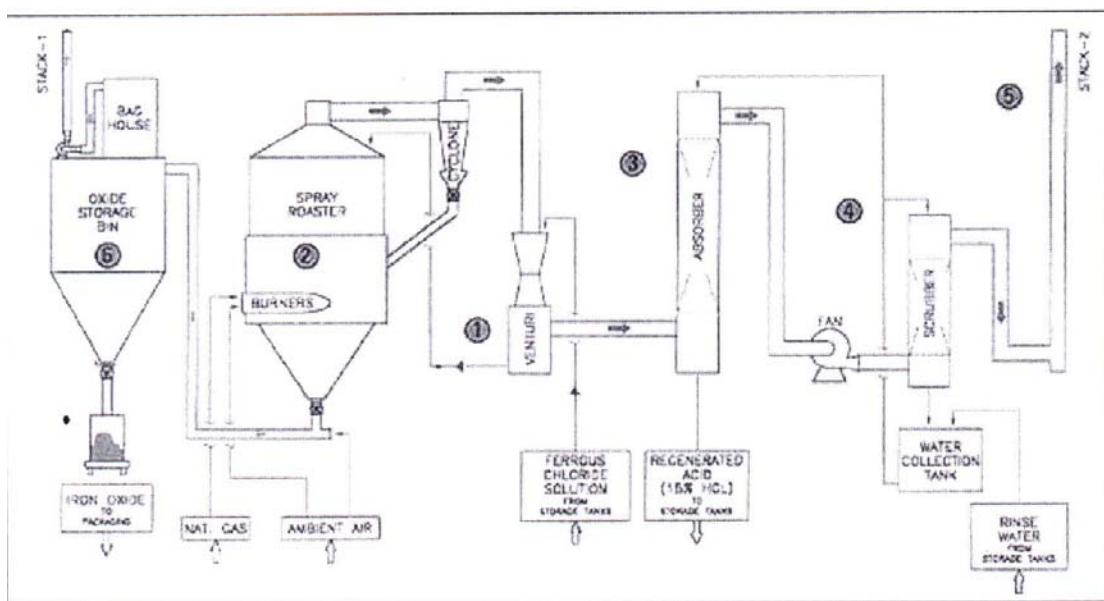


عملیات مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان میداد، امکان بازیافت اسید سولفوریک بدون حمل به کارخانه تولید اسید سولفوریک وجود دارد. حاصل واکنشهای انجام گرفته اکسید آهن می باشد، که می تواند در کوره بلند استفاده شود. بزودی مشخص شد که آن روش، در ارائه فرآیند شیمیایی کامل در کارخانجات فولاد جهت بازیافت اسیدهای باطله موفق نبوده است. پس کارخانجات تولید فولاد متقاعد گردیدند، به جای اسید شویی ورق با اسید سولفوریک به اسید شویی با اسید کلرید ریک روی آورند. اولین واحد اسید شویی در اروپا در سال 1955 ساخته شد. عملیات در واحد نورد سرد یکی از کارخانجات تولید ورق انجام گرفت. فرآیند براساس رسوب گیری و تجزیه حرارتی کلرید آهن آبدار انجام شد. ( $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ )

در طی این تجزیه شیمیایی اکسید آهن هماتیت تولید گردید. عملیات ابتدا در کوره حرارت غیر مستقیم انجام می گرفت. معایب کوره های حرارت غیر مستقیم عبارت بودند از: راندمان نسبتاً پایین و مصرف انرژی بالا. اگر چه در آن زمان چندین پایلوت ساخته شده ولی اجرا عملیات تحت شرایط کارخانجات فولاد ساده نبود. بعلاوه کارشناسان طی بررسیهای بعدی کوره های حرارت غیر مستقیم را با روش **Spray roasting** تعویض نمودند. فرآیند **Spray roasting** چندین بار در گذشته مطرح شده بود. ساخت یک دستگاه **Counter Current Spray roaster** در **Patent** ی منصوب به شخصی به نام **Lurgi** در سال 1936 مطرح شده بود. در آن زمان او ناچار بود تصمیمی مهم در گسترش تکنولوژی **Spray roasting** یا **fluidized bed** بگیرد. این تصمیم بخاطر دلایل کاربردی بود. (مثلاً برشته پريت) و نیز برای واکنشهایی که به زمان زیادتری نیاز دارند. به همین دلیل **Lurgi** فرآیند **fluidized bed** را دنبال نمود. اما **Ruthner** فرآیند **Spray roasting** را توسعه داد. از سال 1960 چندین شرکت کوشش نمودند فرآیند **Spray roasting** را برای تجزیه حرارتی مایعات حاصل از اسید شویی ورقهای فولادی بکار گیرند. اکنون شرکتهای زیادی تجهیزات لازم برای بازیافت اسید کلرید ریک را می سازند. **Lurgi** فرآیند **fluidized bed** و **Ruthner** فرآیند **Spray roasting** را توسعه بخشیدند. بیش از 85% از 200 واحد بازیافت اسید کلرید ریک براساس این دو روش طراحی و ساخته شده اند.

## دستگاه Spray roasting

Ruthner تاکنون بیش از 100 پیلوت برای بازیافت مایعات حاصل از اسید شویی که در سراسر دنیا برای کارخانجات فولاد ساخته است. واحدهای استاندارد شده می توانند تا ظرفیتهای تقریباً  $0.25\text{m}^3/\text{h}$  تا  $25\text{m}^3/\text{h}$  مایعات حاصل از اسید شویی را بازیافت نمایند. فرآیند Spray roasting فرآیند تک مرحله ای برای تولید انواع اکسید های فلزی از محلولهای کلرید آنها می باشد، که می توانند بوسیله حرارت تجزیه شوند. شکل زیر شماتیک دستگاه را نشان می دهد :



محلولهای کلرید فلزات یک جزء فلزی یا چندین جزء در سیستم خوراک دهی دستگاه منتقل می شوند. بعد از جمع شدن در wash-Scrubber و مبدل حرارتی، محلول مستقیماً وارد کوره برشتن (roaster-furnace) می گردد. هنگامیکه اکسید فلز در انتهای کوره در حال تخلیه شدن می باشد آب و بخار اسید کلرید ریک حاصل تجزیه شیمیایی محلول کلرید آهن II است، بخار و گاز HCl تولید می نماید. آنچه از اکسید های فلزی که وارد سیکلون می شود طی دو مسیر به انتها محفظه برشتن هدایت می گردند. اگر دانه ها به اندازه کافی درشت می باشند، از انتهای سیکلون وارد محفظه برشتن شده و اگر بسیار ریز باشند پس از برگشت به wash-Scrubber دوباره آغشته به محلول کلرید فلزی گشته و از طریق نازل دستگاه، اسپری گردیده تا اندازه دانه های آن درشت تر شود. از طرفی گازهای داغ از wash-Scrubber و مبدل حرارتی عبور داده می شوند. در انتهای محفظه برشتن تنها اکسید فلز باقی می ماند. گاز HCl در آب حل شده و اسید کلرید ریک بازیافت می گردد. این اسید طی یک سیکل بسته، در تولید مجدد کلریدهای فلزی بکار گرفته می شود. اکسید آهن که در کارخانجات تولید فولاد به روش spray roasting تهیه می شود، از نظر شکل دانه ها بصورت کره هایی متخلخلی با قطر  $20\ \mu\text{m}$  تا  $400\ \mu\text{m}$  هستند. متوسط اندازه دانه های آنها بین  $0.1\ \mu\text{m}$  تا  $0.25\ \mu\text{m}$  است.

چگالی تلنگری آنها بین  $300-400\ \text{g/l}$  می باشد. به منظور افزایش چگالی تلنگری لازم است آنها از دستگاه Counter Current Knead mixer عبور نمایند. اکسید آهن وقتی از دستگاه خارج می شود چگالی تلنگری آن



در حدود 320 g/l است. بعد از 5 دقیقه باقیماندن در دستگاه مذکور چگالی آن تا 850 g/l و پس از 10 دقیقه چگالی آن 1020 g/l و پس از 15 دقیقه چگالی آن به 1170 g/l افزایش می یابد با افزایش زمان تغییر در چگالی تلنگری مشاهده نمی شود. در جدول زیر خواص فیزیکی اکسید آهن فولاد مبارکه را مشاهده می نمائید:

### جدول زیر خواص فیزیکی اکسید آهن فولاد مبارکه

نام ماده	humidity	Cl	Cl پس از الک	apparent density	Tap density	Particle size
Fe2O3(1)	0.7%	0.4%	0.2%	0.44%	0.2%	
Fe2O3(2)	0.8%	0.5%	0.2%	0.43%	0.2%	

این فرآیند نه تنها در بازیافت مایعات حاصل از اسید شویی واحدهای نورد سرد که محصول نهایی آن هماتیت است بخوبی بکار می رود بلکه می تواند برای تجزیه حرارتی همه انواع کلریدهای فلزی یک جزیی یا چند جزیی بکار گرفته شود و آلودگیهای زیست محیطی جهت تولید مواد خام اکسیدهای فلزی مصنوعی مورد نیاز صنایع سرامیکها مهندسی و سرامیکهای الکترونیکی به حداقل کاهش می یابد.

اکنون تغییرات جدیدی در دستگاههای Spray roaster انجام گرفته که سبب گردید بازده دستگاه و کیفیت اکسید فلزی بدست آمده افزایش یابد عمده تغییرات انجام گرفته عبارتست از:

تغییر پمپهای خوراک دهند - بهبود سیستم پاشیدن محلول کلرید فلزی به راکتور - بهبود تانکهای تغلیط اسید - اتوماتیک نمودن عملیات اضطراری

### واحد اسید شویی

قوانین سخت محیط زیست همراه با افزایش هزینه های خدمات رفاهی، به تولید کنندگان فولاد، هزینه های جانبی تحمیل می نماید. امتیازات اسید شویی اولین بار ۴۱ سال قبل مشخص گردید در آن زمان همانطور که قبلاً ذکر گردید کوره های حرارت غیر مستقیم استفاده می شد و عملیات شستشو طی چندین مرحله، در یک سیستم بسته انجام می گرفت. موازی با گسترش تجهیزات برای بازیافت مایعات حاصل از اسید شویی کارخانجات فولاد، امروزه ظرفیت آنها از چند هزار تن در ماه تا 200000 t/mon در ماه افزایش یافته است. بیش از چند صد خط اسید شویی با ظرفیتهای تا 10000 t/m ساخته شده است. نیاز به مساحت کم - کارکنان کم عمده امتیازات این پایلوتها می باشد. پایلوت با اندازه متوسط (تا حدود 30000 t/m) از نوع Push-type pickler نیمه پیوسته نیز گسترش یافته اند در حال حاضر بیش از 25 نوع از این واحدها در اطراف جهان وجود دارند. واحدهای اسید شویی عمودی با ظرفیتهایی تا 100000 t/m نیز توسعه زیادی داشته اند. اکنون چهار برج عمودی اسید شویی در آمریکا و کانادا فعالیت دارند. کارمستمر در توسعه طراحی واحدهای اسید شویی افقی منتهی به سیستم اسید شویی افقی در تانک کم عمق گردید، که امتیازات زیادی نسبت به اسید شویی در تانک عمیق دارد.

امتیازات تانک اسید شویی کم عمق:

- ۱- عدم نیاز به آویختن رول ورق
- ۲- سادگی تجهیزات الکترومکانیک
- ۳- دستگاه کنترل چرخه نوار لازم نیست
- ۴- عدم انجام اسید شویی بیش از حد

- ۵- ساده سازی شناسایی ترک در نوار فولادی  
 ۶- عدم نیاز به آسانسور برای حمل نوار فولادی  
 ۷- کاهش 60% در وزن تانکهای اسید شویی  
 ۸- بهبود راندمان اسید شویی  
 ۹- عدم ایجاد کرنش در ورق اسید شویی شده  
 ۱۰- کاهش مصرف آب و ساخت اسید کلرید ریک بخاطر استفاده از سیستم بسته  
 ۱۱- توانایی اسید شویی فولادهای سیلیس دار

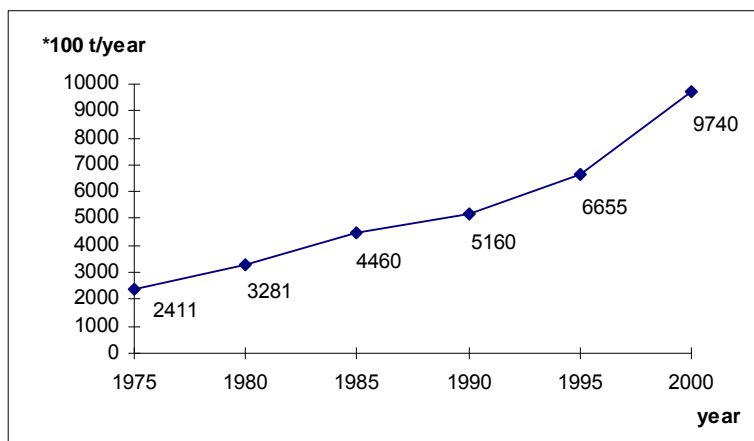
بخاطر توسعه مستمر در فرآیند تولید اکسید آهن و موفقیت طرح برشتن می توان احداث چنین واحدهایی تولیدی را مورد ملاحظه قرار داد . در این واحد اسید کلرید ریک بازیافت شده و اکسید آهن مصنوعی تولید می شود ، کاهش مصرف انرژی ، سهولت تعمیر و نگهداری و فوایدی که از تولید اکسید آهن نصیب می گردد ، فاکتورهای مهمی در ارزیابی اقتصادی نوع فرآیند می باشد .

### میزان تولید فولاد، فریت و مصرف اکسید آهن Spray roasting در جهان طی سالهای 1975 تا 1987

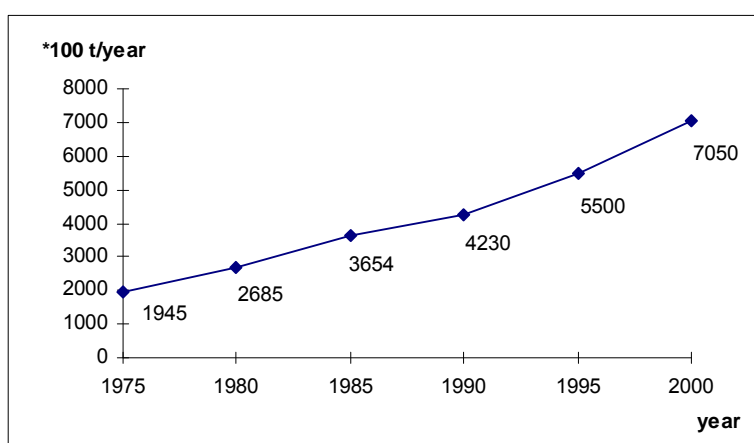
با توجه به ارتباط میزان تولید اکسید آهن با تولید فولاد در جهان ، لازم است در خصوص میزان تولید فولاد و ورق توضیحات لازم ذکر شود .  
 در جدول زیر میزان تولید فولاد در کشورهای مهم اروپا - آمریکا و آسیا بررسی شده است :

سال کشور	1979	1986	1987
آمریکا	139.8	87.9	95.7
آسیا	174.7	194.3	201.7
آمریکای لاتین	27.5	37.5	39.6
آفریقا	13.2	14.6	14.2
اروپای شرقی	209.4	221.1	223.6
اروپای غربی	174.0	150.0	133.0

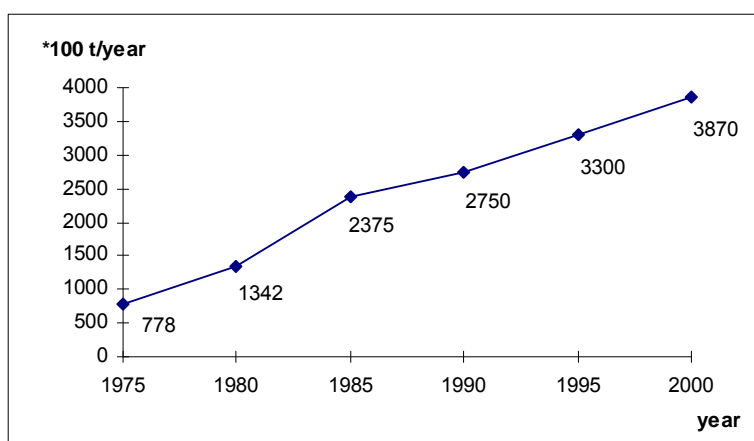
حدود 20% این تولید به تولید ورق اختصاص دارد و 10-15% ورقهای تولید شده تحت فرآیند اسید شویی قرار میگیرند به ازای هر یک میلیون تن ورق که 6000 تن اکسید آهن (هماتیت) تولید می شود .



نمودار کل تولید فریت سخت و نرم طی سالهای 1975 تا 2000



نمودار کل مصرف اکسید آهن برای تولید فریت سخت و نرم طی سالهای 1975 تا 2000



نمودار سهم مصرف اکسید آهن Ruthner برای تولید فریت سخت و نرم طی سالهای 1975 تا 2000

ملاحظه می شود تولید فریت از یک رشد بطور متوسط 10 % برخوردار است رشد مصرف اکسید آهن Ruthner در صنایع فریت بطور متوسط به همین صورت است . به سبب افزایش کیفیت اکسید آهن Ruthner و کنترل ناخالصیهای آن و یکنواختی حرارتی لازم باعث گردیده ، نفوذ پذیری فریت ساخته شده با این اکسید آهن افزایش یافته و مصرف آن نیز بیشتر گردد .

در جدول زیر مشخصات فیزیکی و شیمیایی اکسید آهن Ruthner را ملاحظه می نمائید .

### خواص فیزیکی و شیمیایی اکسید آهن تهیه شده به روش Spray roasting

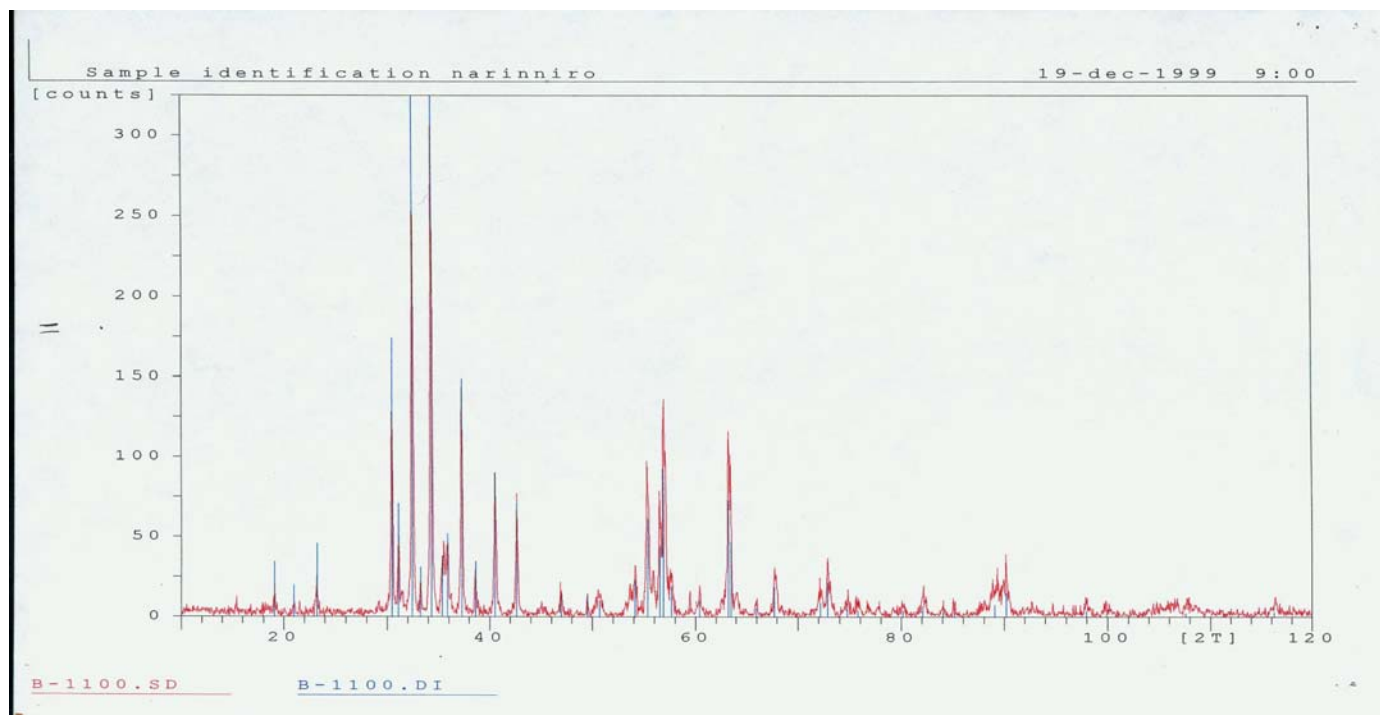
	اکسیدهای تهیه شده از محلولهای اسید شویی کارخانجات فولاد			اکسیدهای تهیه شده از محلولهای اسید شویی به همراه افزودنیها		اکسیدهای تهیه شده بوسیله حل نمودن قراضه آهن در اسید HCl	
	Type025K	Type007Y	Type01A (NK)	Type 025K 3 RDH	Type 025K 10 RDH	Type 04 UHC	Type 02 LS
L.O.I (1000 C)	0.3-0.5	0.2-0.4	0.3-0.4	0.3-0.5	0.3-0.5	0.2-0.5	0.2-0.4
کلریدها و نمکهای نامحلول در آب	0.2-0.4	0.1-0.15	0.3	0.2-0.4	0.2-0.4	0.1-0.4	0.1-0.15
% $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98.9	99.1-99.3	99.0-99.2	98.6	98.0	99.3	99.7-99.8
%SO <sub>3</sub>	0.05-0.08	0.04-0.07	0.04-0.07	0.05-0.08	0.05-0.08	0.06	0.05
%SiO <sub>2</sub>	0.05	0.02-0.04	0.01-0.02	0.27-0.32	0.9-1.0	0.007	0.005
%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02-0.04	0.02-0.04	0.02-0.04	0.02-0.04	0.02-0.04	0.02	0.01
%MgO	0.02-0.04	0.003-	0.01-0.03	0.02-0.03	0.02-0.04	0.01	0.005
%CaO	0.04-0.06	0.007	0.04-0.06	0.04-0.06	0.04-0.06	0.03	0.01
%MnO	0.3-0.5	0.03-0.05	0.2-0.3	0.3-0.5	0.3-0.5	0.36	0.04
%CuO	0.03	0.3-0.4	0.01-0.02	0.03	0.03	0.03	0.01
%K <sub>2</sub> O	0.01	0.01-0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
%Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
سطح ویژه (m <sup>2</sup> /g)	4-6	0.01	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6
شکل ذرات	cubical	4-6	cubical	cubical	cubical	cubical	cubical
چگالی تلنگری (g/l)	300-500	cubical	300-500	300-500	300-500	300-500	300-500
( $\mu$ ) متوسط اندازه دانه	0.17	300-500	0.14	0.17	0.17	0.21	0.20
		0.09					

در جدول بالا مشخصات فیزیکی و شیمیایی اکسید آهن Ruthner را ملاحظه می نمائید .

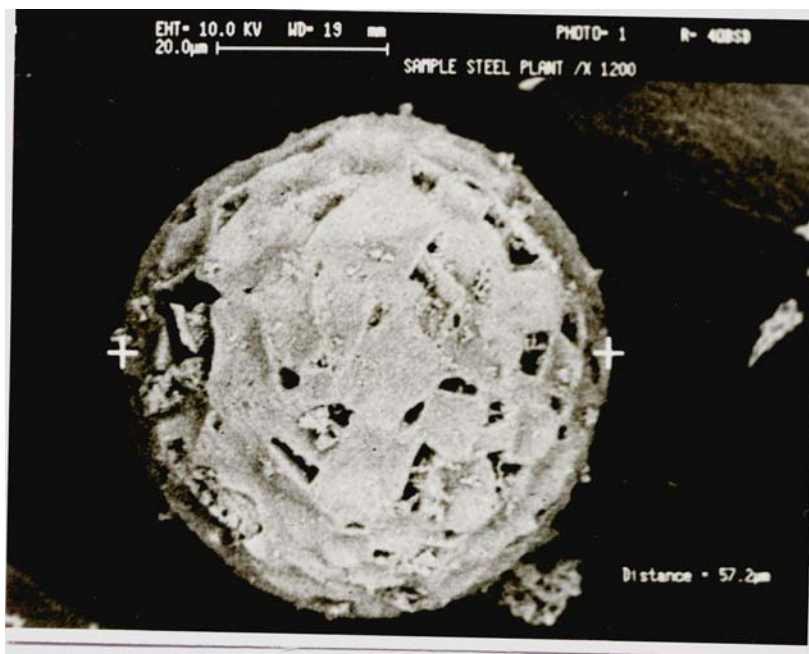
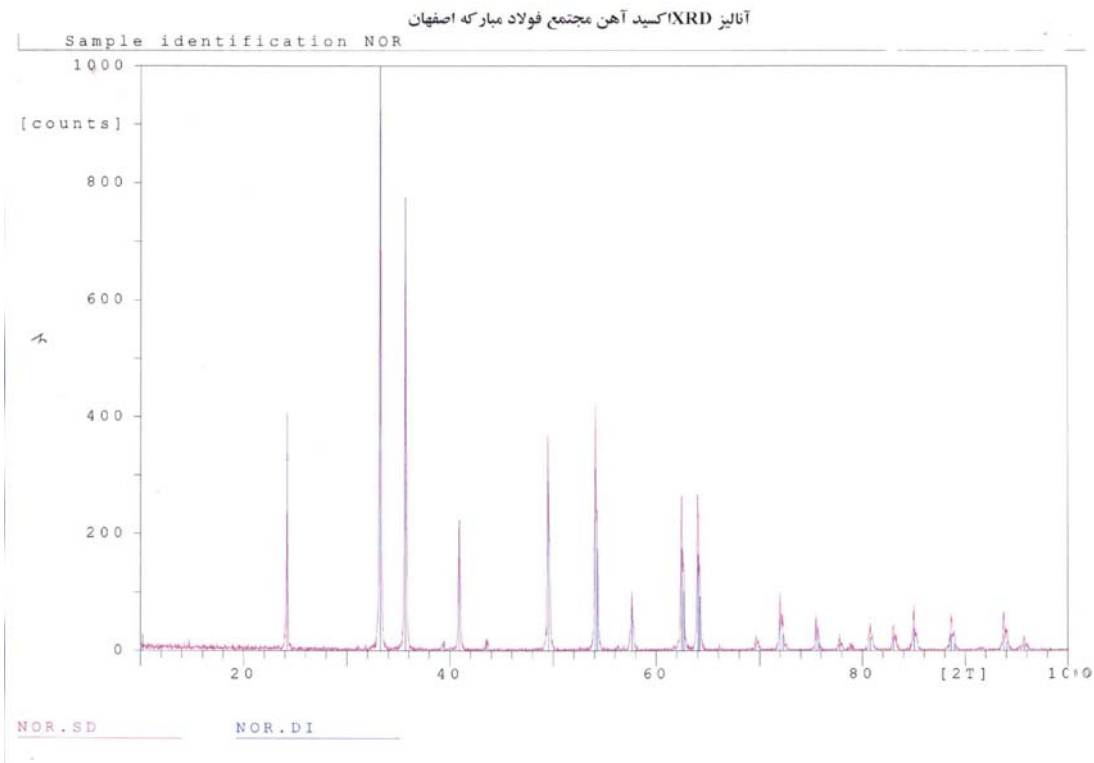
در جدول زیر آنالیز شیمیایی اکسید آهن Ruthner تولید شده در مجتمع فولاد مبارکه اصفهان مشاهده می شود.  
 آنالیز شیمیایی اکسید آهن تهیه شده به روش **(Ruthner) Spray roasting** در مجتمع فولاد مبارکه  
 اصفهان

<u>L.O.I</u> (1000°C)	<u>کلر باقی</u> <u>مانده</u>	<u>α-Fe2O3</u>	<u>Na2O</u>	<u>SO3</u>	<u>Cl</u>	<u>MnO</u>	<u>SiO2</u>	<u>TiO2</u>	<u>CaO</u>	<u>MgO</u>	<u>Al2O3</u>
0.15%	0.35%	99.2%	0.08%	0.02%	0.35%	0.12%	0.09%	0.04%	0.01%	0.05%	

در شکل زیر آنالیز XRD اکسید آهن مجتمع فولاد مبارکه اصفهان ملاحظه می شود.



در شکل‌های زیر آنالیز XRD و تصاویر میکروسکوپ الکترونی اکسید آهن مشاهده می‌شود.





طبیعت ناخالصیهای موجود در اکسید آهن بر روی ساختار ریز تأثیر می گذارد. ساختار ریز فریتها از اهمیت ویژه ای برخوردار است و باید برای حصول از کیفیت مناسب فریت کنترل شود. در طی مطالعات بوسیله دستگاه XRD و SEM بر روی اکسید آهن Ruthner حضور چندین اکسید فلزی با نقطه ذوب بالا مشخص گردید. حضور این ناخالصیها ناشی از فرآیند تولید فولاد در کارخانجات مربوط به آن می باشد. در میان اکسیدهای آهن که در حال حاضر برای تولید فریت مورد استفاده قرار می گیرند، اکسید آهن تولید شده به روش Spray roasting از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به همین دلیل طبیعت ناخالصیها در این ماده که سبب تحولات ناخواسته در ساختار ریز قطعات فریت می شود، باید مورد بررسی قرار گیرد.

در این میان ناخالصیهای مهم عبارتند از Na, Si, Ni, Cr, Al, Mn در حال حاضر اکثر تولید کنندگان فریت نرم بر روی مقدار کلرید باقی مانده، سیلیس و تا اندازه به نسبت CaO حساسیت نشان می دهند.

ناخالصیهای باقیمانده طی تجزیه شیمیایی مایعات حاصل از اسید شویی، محلولهای جامد، به همراه اکسید آهن Spray roasting تشکیل می شوند تغییرات اخیر در تکنیکهای تولید فولاد، سبب گردیده تا غیر فلزات نامحلول در اسید کلرید ریک به شکل ذرات جامد معلق در مایعات حاصل از اسید شویی وجود داشته باشند. اندازه ذرات چنین ذرات جامدی بین چند میکرون تا مقادیر کمتر از  $1 \mu m$  است. ناخالصیهای غیر فلزی که در فولاد بوجود می آیند اساساً ناشی از تولید فولاد به روش ingot Casting در این روش توزیع اندازه ذرات عبارتند از 15% حجمی ناخالصیها دارای اندازه دانه  $1 \mu m$  و 35% حجمی اندازه ذرات آنها بین

$1 \mu m$  تا  $10 \mu m$  و 20% حجمی اندازه دانه های آن بین  $10 \mu m$  تا  $20 \mu m$  و 30% حجمی اندازه ذرات آنها بیش از  $20 \mu m$  است. اگر آن را بخواهیم با تولید فولاد به روش Continues Casting مقایسه نمائیم توزیع ذرات به صورت زیر خواهد بود 35% حجمی ناخالصیها  $1 \mu m$  و کمتر 30% حجمی بین  $20 \mu m$  تا  $10 \mu m$  و 10% حجمی ناخالصیها بیش از  $20 \mu m$  است. با در نظر گرفتن تکنیکهای تولید فعلی فولاد، اکسیژن زدایی سولفور زدایی، کنترل مورفولوژی ذرات ناخالصی غیر فلزی، میکرو آلیاژها و آهنگ سریع چگالی طی Continues Casting مشخص خواهد شد که در روشهای تولید فولاد لازم است تولید شامل ناخالصیهای غیر فلز کمتر و از نظر ذرات کوچکتر باشد. ناخالصیهای غیر فلزی در فولاد اساساً ناشی از واکنش مواد در فرآیند تولید فولاد در دمای بالا و تغییر در عوامل اکسیژن زدا مانند (Ca, Si, Al)، عوامل سولفور زدا (CaSi, Ce, Ca)، افزودنیها برای کنترل ناخالصیهای غیر فلزی (Zr, Si, Al) و فلزات نادر) و میکرو آلیاژها (Co, Cb, V Ti) و فلزات نادر) می باشد. اکثر اکسیدهای فلزی که به همراه اکسید آهن به صورت ناخالصی وجود دارند، در نقطه ذوب فولاد جامد هستند و در همچنین در اسید کلرید ریک داغ نامحلول موجود می باشند.

نتایج آنالیز شیمیایی ، ناخالصیهای نامحلول که در اسید کارید ریک وجود دارند در ذیل مشاهده می گردد:

$Ce_2O_3$	8-12wt%
NiO	8-12wt%
MgO	0.3-0.7wt%
CaO	0.1-0.2 wt%
$SiO_2$	25-45 wt%
$Fe_2O_3$	2-6 wt%
$Al_2O_3$	20-35 wt%
$Cr_2O_3$	8-12 wt%
$TiO_2$	1-3 wt%
$SO_3$	1-7 wt%
MnO	10-20 wt%

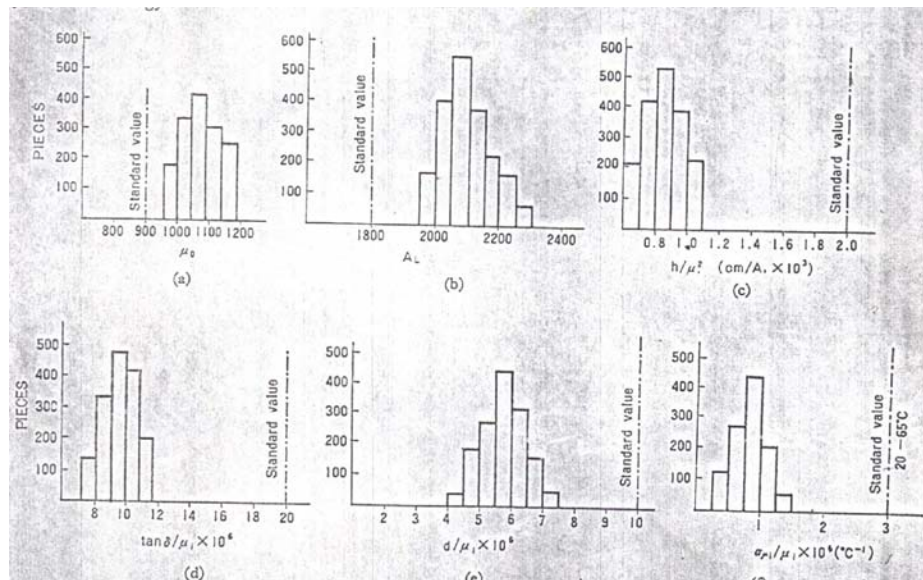
### روشهای افزایش خلوص اکسید آهن

یکی از بهترین روشهای خالص سازی مواد در محیطهای و آبکی انجام می گیرد . تحت این شرایط با استفاده از روشهای مختلف شیمیایی میتوان نسبت به تغلیظ مواد از کانیها و یا افزایش خلوص آنها اقدام نمود . با توجه به ویژگیهای روش تولید اکسید آهن ( Spray Roasting ) که در محیطی کاملا محلول انجام می گیرد، میتوان عناصر مزاحم در تولید فریت را تقلیل بخشید. یکی از مهمترین ناخالصیها در تولید فریت نرم وجود  $SiO_2$  در مواد خام می باشد، که سبب Pin شدگی حوزه های مغناطیسی می گردد. میزان خلوص اکسید آهن که در تولید فریتهای نرم بکار گرفته می شوند باید حداقل ۹۹/۱٪ باشد. اگر ماده مذکور در تولید فریتهای قدرت بکار گرفته شود، خلوص آن طبعا باید بیشتر باشد. در این قسمت کوشش می گردد روشهای افزایش خلوص اکسید آهن ( Spray Roasting ) توضیح داده شود.

یک روش ساده افزایش خلوص اکسید آهن آن است که محلول کلرید آهن بدست آمده مدت زمان زیادی در ظرفی نگهداری شود در این حالت  $SiO_2$  در انتهای ظرف رسوب می نماید( از ویژگیهای  $SiO_2$  آن است که در محیط های اسیدی راسب می گردد).

## مصرف اکسید آهن Ruthner در تولید فریتهای Soft

تا سال 1980 از اکسید آهن که به روش کلاسیک بدست می آید در تولید فریتهای Soft استفاده می گردید . در خواست تولید کنندگان برای افزایش کیفیت اکسید آهن و ملاحظات اقتصاد و موجب شد تا فرآیند بهتر و ارزانتری برای تولید اکسید آهن ویژه فریتهای Soft بکار گرفته شود . اکنون مشخص گردیده که اکسید آهن تولید شده به روش Ruthner برای تولید فریتهای Soft ، Mn - Zn مناسب است . محصولات تجاری و حرفه ای مشخص شده اند ، تجهیزات تکنولوژی موجود و وسایل می توانند بدون هیچگونه مشکلی با اکسید آهن Ruthner کار نمایند . ابعاد هندسی می تواند در همه حالاتها بوسیله تنظیم پارامترهای خواسته شده کنترل شوند ، افزودنیها نشان می دهند که این ماده برای ساخت رینگهای TV و هسته های Pot طبق تکنولوژی امروزی کاملاً مناسب می باشند . جالب است بدانید با این اکسید آهن می توان فریتهای با تلفات هیستریس disaccommodation کم ساخت این پارامتر برای ساخت فریتهای با تلفات پایین از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است . دیاگرامهای زیر طبق تکنولوژی تولید امروزی مقادیر استاندارد را نشان می دهند ، از نقطه نظر تجاری قیمت پایین اکسید آهن برای تولید فریتهای نرم اهمیت زیادی دارد . ماده اکسید آهن تولید شده به روش Ruthner از ابتدا دارای خواص فیزیکی و شیمیایی یکنواختی است که می توان به آن اعتماد نمود . محصول نهایی در انتها به کیفیت مورد نظر نیز خواهد رسید .



شکلهای بالا خواص محصول فریتهای نرم Mn - Zn را که بوسیله اکسید آهن Ruthner تولید شده اند را نشان می دهد .

## استفاده از اکسید آهن تولید شده به روش Ruthner در ساخت فریتهای سخت

با توجه به یکنواختی خواص فیزیکی و شیمیایی اکسید آهن Ruthner و آزمایشات انجام گرفته بر روی انواع محصولات تولید شده به این روش جهت قابلیت کاربرد برای ساخت فریتهای سخت اکسید آهن با شماره فنی 025 K برای ساخت فریت سخت بکار گرفته شد ویژگیهای آن را می توانید در قسمت خواص فیزیکی و شیمیایی ملاحظه نمائید و در انتها پس از توضیح روش ساخت نمونه ها مقایسه بین نتایج انجام گرفته در کشور اتریش و نتایج بدست آمده در ایران مقایسه های لازم بعمل خواهد آمد .

روش ساخت با استفاده از اکسید آهن 025 K و اکسید آهن طبیعی ، اکسید آهن مصنوعی :  
لازم به یادآوری است که به علت پایین بودن فوق العاده درصد  $\text{SiO}_2$  ،  $\text{SiO}_2$  % 0.5 به مواد 025K اضافه شده است . اکسید آهن 025 K و اکسید آهن طبیعی بطور جداگانه با کربنات استرانسیم با خلوص %96 با نسبت مولی  $\frac{MCo_3}{Fe_2O_3} = 5.4$  در مخلوط کن Eirich - Counter flow مخلوط می شود .

مخلوط در دمای  $1360^\circ\text{C}$  حرارت داده می شود ، خردایش تر در دستگاه Attrition برای مدت سه ساعت انجام می گیرد . در این حالت سطح ویژه پودر  $7.0 - 8.0 \text{ m}^2/\text{g}$  است . یعنی ریزی پودرها با پودرهایی که در تولید تجاری بکار می روند مطابقت دارند . مخلوط تر پودرها در یک پرس هیدرولیک به روش تر ، تحت میدان مغناطیسی پرس می شوند و قرصهای تهیه شده بین  $1215^\circ\text{C}$  تا  $1245^\circ\text{C}$  پخته می شوند . سپس منحنی ربع دوم B-H ترسیم می گردد .

SPRAY-ROASTED IRON OXIDE FOR THE PRODUCTION OF FERRITES

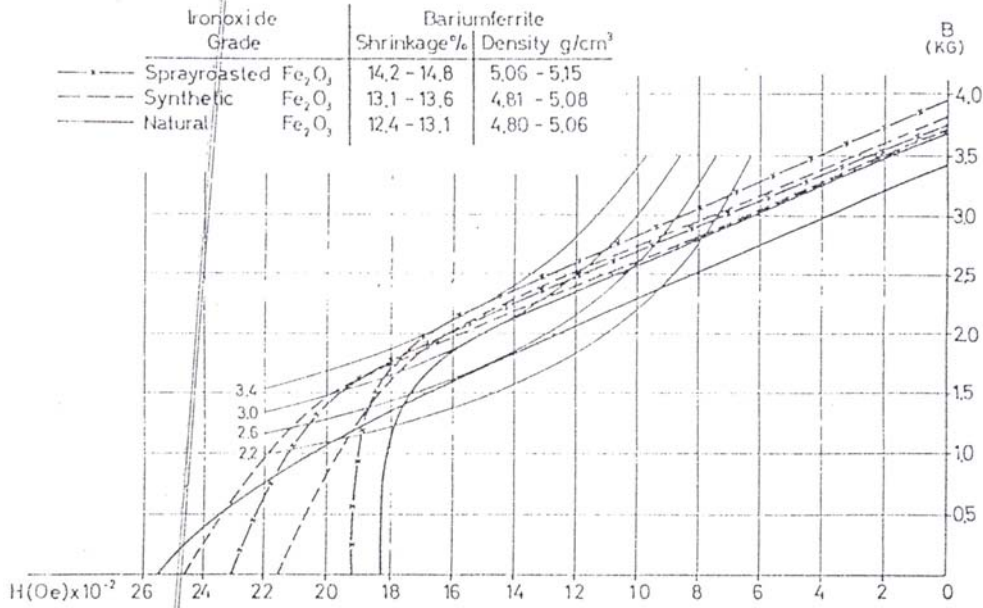


Fig. 2. Demagnetization curves of barium ferrite magnets, made of three different iron oxides.

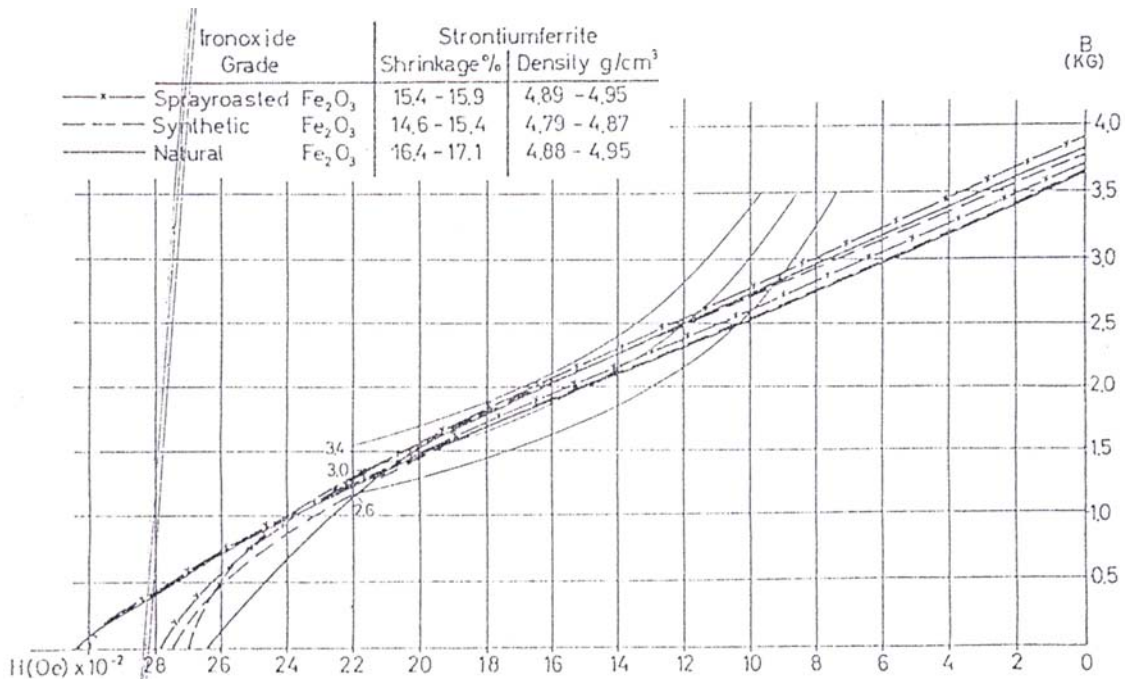
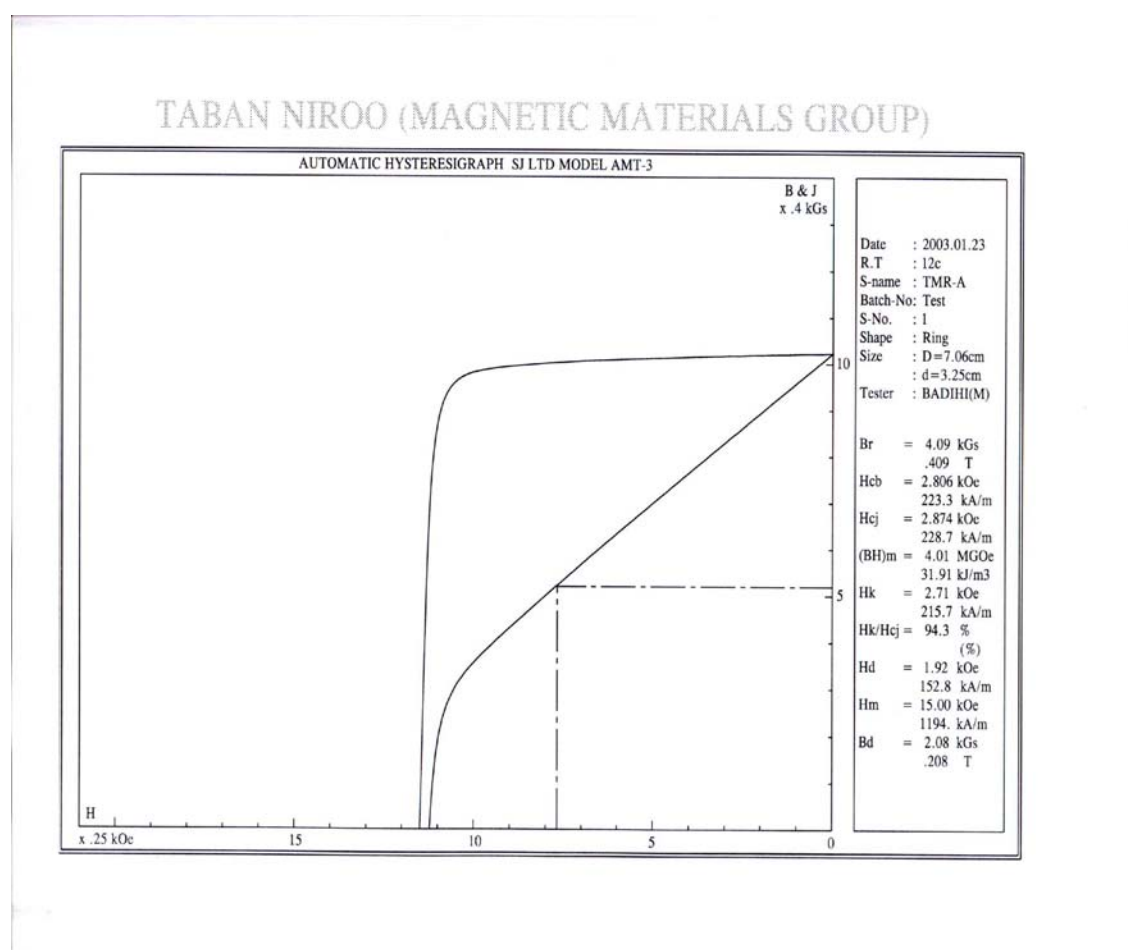


Fig. 3. Demagnetization curves of strontium ferrite magnets, made of three different iron oxides.

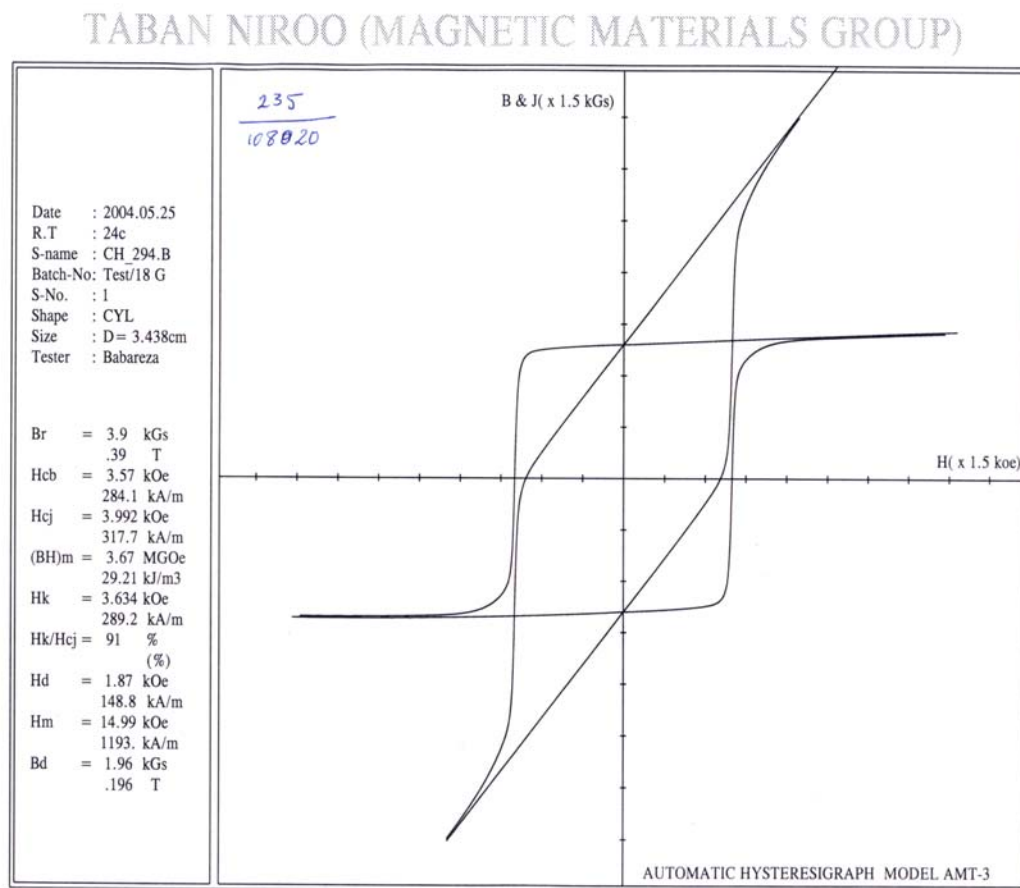
اکسید آهن با خلوص 98.5% کربنات باریم با خلوص 99.2% بانسبت مولی  $\frac{BaCO_3}{Fe_2O_3} = 5.4$  و افزودنی  $SiO_2$  به مقدار 0.4% وزنی در مخلوط کن مولر به مدت ۹۰ دقیقه مخلوط می شوند سپس مواد در کوره قرار گرفته و عملیات پخت دردمای ۱۱۷۵ درجه سانتیگراد انجام میگردد. پس از آن مواد به آسیاب ارتعاشی منتقل شده تحت آسیاب قرار میگیرند تا اندازه دانه هابه ۲ تا ۲/۵ میکرومتر برسد، سپس مواد به آسیاب attrition منتقل شده و به مدت ۸ آسیاب میشوند در این آسیاب افزودنیهای  $Al_2O_3=0.2\%$ ,  $CaCO_3=0.8\%$ ,  $H_3BO_3=0.2\%$  اضافه شده و پس از آسیاب اندازه دانه ها در حدود ۱/۲ میکرومتر خواهد بود پس از آن مواد به برج رسوب گیر منتقل شده و پس از ۲۴ ساعت ماندن در برج به منظور خروج آب اضافی به همزن پرس منتقل میشوند و پس از ۲۰ دقیقه همزدن عملیات تزریق درون قالب پرس، عملیات تراکم شروع میگردد مدت زمان عملیات تراکم بین ۱ تا ۲ دقیقه است. سرانجام قطعات دردمای ۱۱۷۵ درجه سانتیگراد پخت نهایی شده و ماشینکاری شده و جهت اندازه گیری خواص مغناطیسی و فیزیکی به آزمایشگاه ارسال میشوند. در صفحه بعد نمودار هیستریزس مغناطیسی قطعات را ملاحظه می نمائید:



### ساخت فریتهای ناهمسانگرد استرانسیم با استفاده از اکسید آهن فولاد مبارکه

در این آزمایش ابتدا توزیع اندازه پودرها به روش تر با استفاده از الک  $53 \mu m$  اندازه گیری می شود ، 70 % آنها از الک فوق عبور می نمایند . با توجه به ریزی لازم برای مواد اولیه اکسید آهن به مدت سه ساعت در دستگاه Attrition به صورت تر آسیاب می شود سپس کربنات استرانسیم ساخت گروه فریت با خلوص 97 % با نسبت

مولی 5.2 به اکسید آهن اضافه می گردد ، عملیات مخلوط به مدت دو ساعت در دستگاه فوق ادامه می یابد ، پس از خشکاندن پودرها از آنها بریکت ساخته شده و در کوره آزمایشگاهی تا دمای  $1200^{\circ}\text{C}$  حرارت داده می شوند ، سپس بریکتها در آسیاب دیسکی ، خرد شده ، سپس در دستگاه Attrition به مدت هشت ساعت آسیاب می گردند در این حالت اندازه دانه ها کمتر از  $0.8 \mu\text{m}$  است ، سپس در یک دستگاه پرس هیدرولیک تحت میدان مغناطیسی به روش تر قطعات شکل داده شدند سپس قطعات مذکور در کوره قرار داده شده و تا دمای  $1180^{\circ}\text{C}$  پخته شدند . در شکل صفحه بعد منحنی B-H مربوط به آزمایش فوق ترسیم شده است:



با مقایسه منحنیها B-H مشاهده می شود که از نقطه نظر خواص مغناطیسی اکسید آهن مجتمع فولاد مبارکه بسیار از نظر این خواص در موقعیت بهتری قرار دارند با تکرار آزمایشات طی زمان تولید آزمایشگاهی و تولید صنعتی برابر خواص ضبط شده در بخش کنترل کیفیت همواره این مطلب ثابت می گردد. بنا براین اکسید آهن مجتمع فولاد مبارکه دارای تکرار پذیری لازم بوده و به آن می توان به عنوان منبع قابل اطمینان تکیه نمود.

## استفاده از روش **Spry roasting** در تولید فریت نرم به روش هم رسوبی

تاکنون علیرغم مطالعات علمی انجام گرفته استفاده از روش هم رسوبی در ساخت فریتهای نرم توسعه نیافته است . یک روش تولید پودرهای فریت که **fast reaction sintering** یا **Spray firing** نامیده می شود ، تا حدودی پیشرفت داشته است . این فرآیند اساساً بر این ایده استوار است که دوغاب میکرونیزه مواد خام نظیر کربناتهای فلزی یا اکسیدهای فلزی و یا هیدرو اکسیدهای فلزی در دستگاه **Spray roaster furnace** با فشار تزریق می شود . با این فرآیند بدون توجه به ترکیب شیمیایی فریت مورد نظر می توان پودر فریت به روش هم رسوبی تولید نمود . فرآیند ثبات لازم را دارد که می توان محصول یک دست با کنترل خواص شیمیایی و فیزیکی دقیق تولید نماید ، ولی این فرآیند به صنعت راه پیدا نکرده است . مشکل همراه با **Spray firing** عبارت است از اینکه تولید کنندگان فریتهای **Soft** ، انواع بزرگی از ترکیبات شیمیایی را برای کاربردهای فریتی ویژه مورد استفاده قرار می دهند . برای یک واحد صنعتی مفهوم آن این است که دستگاهها باید همیشه قبل از اینکه ترکیب جدید فریت گردد ، تمیز شوند بدون انجام گرفتن عملیات تمیز کنندگی وسیع ، امکان کنترل دقیق ترکیب شیمیایی پودرهای فریت برای تولید قطعات با مشخصات معین وجود ندارد . به نظر می رسد فرآیند **fast reaction sintering** روشی مفید برای تولید کنندگانی است که بیش از **1500 t/year** فریت تولید می نمایند .

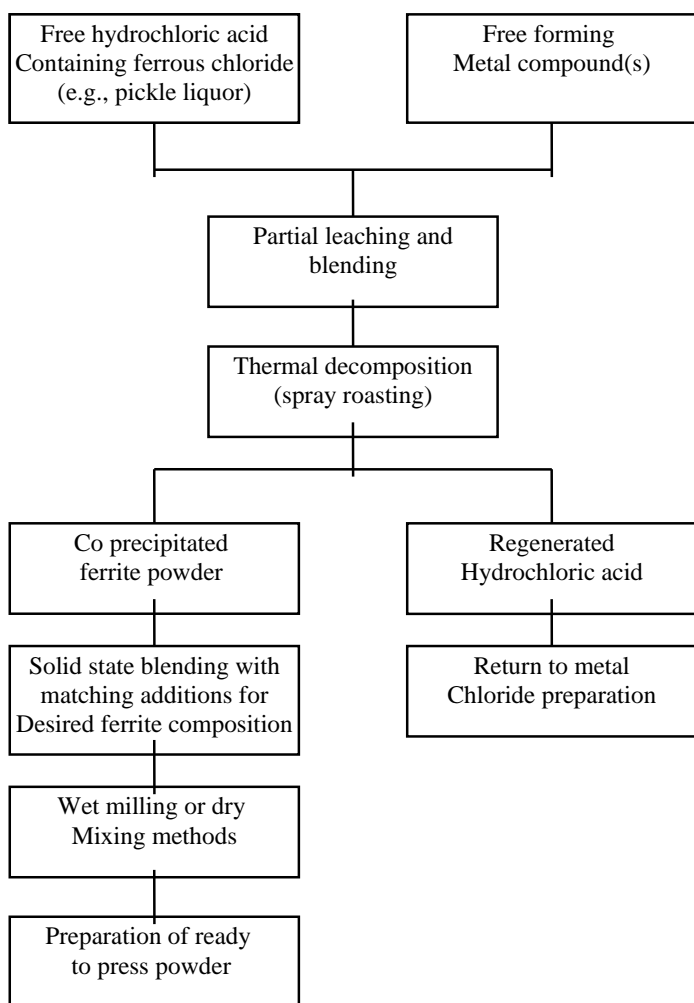
همانطور که گفته شده بطور معمول امکان تولید پودرهای فریت هم رسوبی بوسیله تجزیه حرارتی محلول کلریدهای فلزی چند جزئی وجود ندارد زیرا بسیاری از کلریدهای فلزی از نظر تجزیه حرارتی در دمای یکسان به اکسیدهای فلز خود و اسید کلرید ریک تبدیل نمی شوند از طرفی برخی دیگر تمایل دارند ، بخار شده به شکل دیگری از کلریدهای فلزی تبدیل شوند . بنابراین بخشی از واکنش خواسته شده ، انجام نمی گیرد . اما مشاهده شده آماده سازی پودرهای اکسید فلزی بوسیله تجزیه حرارتی دو جزئی ، محلولهای کلرید فلزی طی یک فرآیند تک مرحله ای برای آماده سازی پودرهای زیر میکرون و ساختار اسپینلی عالی هستند و تک فاز کریستالی تشکیل می شود . محدودیت اصلی برای محلولهای کلرید فلزی آبی ، جهت تولید پودرهای اسپینلی رسوب داده شده تنها بوسیله دماهای تجزیه کلریدهای فلزی ایجاد می شود . تجزیه حرارتی محلول کلرید آن در ترکیب باید محلولهای کلرید فلزی مناسب ، می تواند مورد توجه قرار گیرد . از طرفی از نظر اقتصادی راهی برای تولید پودرهای فریت هم رسوبی می باشد .فلوچارت برای چنین روشی در نمودار صفحه بعد آمده است .

### بلوک دیاگرام تولید پودرهای فریتی به وسیله روش هم رسوبی

#### خواص ماده

$\pm 0.15\%$	انحراف از ترکیب شیمیایی
0.6 - 6	سطح ویژه ماده (B.E.T) $m^2/g$
0.01 - 1	کلرید های باقی مانده (W%)
1.2 - 3	چگالی Bulk ( $g/cm^3$ )
0.1 - 1.2	متوسط اندازه دانه ها ( $\mu m$ )





اما هدف از تولید پودرهای فریت هم رسوبی، تولید پودر فریتی که، با ترکیب شیمیایی قطعه تولید شده یکسان باشد، نیست. بخاطر عوامل ناشی از دمای تجزیه باید سازگاری بین ترکیب شیمیایی پودر فریت هم رسوبی و ترکیب شیمیایی فریتها نهایی و منابع مواد خام ایجاد شود. بکارگیری مایعات اسید شویی از کارخانجات تولید فولاد این امکان را فراهم می آورد، که اسید باطله را جهت حل نمودن سایر ترکیبات فلزی که در تشکیل فاز فریت بکار می روند را استفاده نماییم. به عبارت دیگری برخی مراحل آماده سازی پودر که در گذشته بوسیله کارخانجات فریت انجام می گرفته، اکنون می تواند به واحدهای صنعتی بازیافت اسید کلرید ریک انتقال یابد. اولین آزمایشات در سال 1980 در یک واحد پایلوت که ظرفیت تولید آن 150 Kg پودر در ساعت بوده، انجام گرفته است و اولین واحد صنعتی تولید پودر فریت در اواخر سال 1981 راه اندازی شده، بعد از آن طی مدت کوتاهی سایر واحدهای دیگر نیز تأسیس گردیده است. نظر به تولید پودرهای اسپینلی فریت نرم، اکنون می توان ملاحظه نمود که بیش از 80% ترکیب شیمیایی خواسته شده را می توان بوسیله این روش و به صورت اکسیدهای چند جزئی بدست آورد.

اگر چه پودرهای سرامیکی تولید شده با ترکیب شیمیایی قطعه فریتی مطابقت کامل ندارد ولی باید در نظر داشته باشید با این روش مرحله تفجوشی مقدماتی مواد حذف گردید و پودرها به صورت خشک یا تر آماده

پرس می شود ، قبل از عملیات پرس کردن می توان محلولی از اکسیدهای فلزی را به منظور رفع نواقص ترکیب شیمیایی به مواد اضافه نمود .

### قابلیت دسترس پذیری اکسید آهن در آینده

محدودیت‌های آینده که در افزایش تولید اکسید آهن به روش Spray Roasting می تواند ایجاد شود از دو دیدگاه قابل بررسی است.

۱- تأسیس واحدهای جدید تولید در کنار کارخانجات فولاد

۲- تأسیس واحدهای جدید در خارج از کارخانجات تولید فولاد

در مورد بند ا وضعیت در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه متفاوت است . در کشورهای پیشرفته بخاطر وجود واحدهای اسید شوئی با ظرفیتهای فوق العاد زیاد، تعداد واحدهایی که در آینده ساخته خواهد شد، محدود می باشد. سرمایه گذاریهای جدید برای تولید اکسید آهن به روش Spray Roasting در مکانهایی صورت می پذیرد که سبب افزایش ظرفیت واحدهای مذکور گردد. این عملیات در قالب طرحهای توسعه می با شدنوع دیگر سرمایه گذاری مربوط به واحدهای تولید فولاد ی است که هنوز به روشهای قدیمی ورقهای فولادی را اسید شویی می نمایند. مثلاً واحدهایی که در نظر دارند بجای شستشو ورقهای فولادی با اسید سولفتریک به اسید شویی با اسید کلرید ریک روی آورند. با توجه به پیشرفت فوق العاده صنایع شیمیایی در کشورهای پیشرفته بسیاری از کارخانجات تولید فولاد این امکان را دارند که از اسید های مینرالی بازیافت شده سایر کارخانجات شیمیایی را خریداری نمایند در این صورت تأسیس پابلوت چندین میلیون دلاری برای بازیافت ، که اکسید آهن به روش Spray Roasting تولید می نماید توجیه پذیر نخواهد بود.

در کشورهای در حال توسعه موقعیت بصورت دیگری است . با رشد ظرفیت تولید فولاد در این کشورها پتانسیل زیادی برای منابع جدید تولید به روش فوق وجود دارد ، اما وضعیت تقاضا برای مصرف انواع فریتهای در این کشورها با تولید ورقهای فولادی مطابقت ندارد. بطوریکه تولید ورقهای فولادی در این کشورها از آهنگ رشد بالاتری برخوردار است. در کشور ایران سالانه ۳۵۰۰ تن اکسید آهن در مجتمع فولاد مبارکه تولید می شود

تأسیس واحدهای تولیدی در خارج از کارخانجات فولاد برای برخی کشورها جالب توجه است و سرمایه گذاران به دو منظور در این مورد تمایل به سرمایه گذاری دارند ، تأسیس واحدهای تولید مواد خام فلزی و بکارگیری روش فوق در تولید پودرهای فلزی فریتهای Soft از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند.

در مورد اخیر استفاده از روش فوق برای تهیه پودر فریتهای سبب کاهش هزینه های تولید سرامیکهای مغناطیسی می گردد. در این حالت هیچ رابطه ای بین فرآیند تولید اکسید آهن در کارخانجات تولید کننده ورقهای فولادی و تولید کنندگان پودر فریتهای Soft وجود ندارد.