



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc.”

مهندسی معدن - اکتشاف

عنوان:

**مقایسه و ارزیابی فنی و اقتصادی روشهای تولید گندله سنگ آهن در دو مجتمع
گندله سازی اردکان یزد و فولاد مبارکه اصفهان**

استاد راهنما:

استاد مشاور:

نگارش:

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
1	چکیده
2	مقدمه
فصل نخست : کلیاتی در مورد سنگ آهن	
7	1-1- آهن و مشخصات آهن
12	2-1- طرز تشکیل سنگهای معدنی آهندار در طبیعت
12	1-2-1- کانسارهای رسوبی
13	1-1-2-1- تاکنونیت ها و نیمه تاکنونیت ها
13	2-1-2-1- ژاسپیلیت ها
13	3-1-2-1- ایتابریت ها
14	4-1-2-1- لاتریت ها
14	5-1-2-1- الیتیک ها
14	6-1-2-1- سیدریت ها
14	7-1-2-1- معادن شنی
14	8-1-2-1- کانسارهای کنگلومرا
14	2-2-1- کانسارهای آتشفشانی یا هیدروترمال
15	3-2-1- کانسارهای پرعیارشده در اثر حلالیت ناخالصی ها و خروج آنها از سنگ
15	4-2-1- کانسارهای با منشاء سولفوری
15	3-1- کانی شناسی کانه های آهن
16	1-3-1- ساختمان ترکیب اکسیدهای آهن

16	وستیت	1-1-3-1
16	مگنتیت	2-1-3-1
17	هماتیت	3-1-3-1
18	ایلمنیت	4-1-3-1
18	کانه‌های آبدار آهن	5-1-3-1
19	گوئیت	1-5-1-3-1
19	لیمونیت	2-5-1-3-1
20	ساختمان کانه‌های کربناتی	2-3-1
21	کانه‌های سیلیکاتی	3-3-1
21	گروه کانیهای سولفور	4-3-1
21	پیریت	1-4-3-1
22	پیروتیت	2-4-3-1
22	مارکاسیت	3-4-3-1
24	ترکیب شیمیایی کانه‌های آهن‌دار	4-1
25	بررسی ترکیب شیمیایی سنگ آهن	1-4-1
25	عیار سنگ آهن	1-1-4-1
26	سیلیس و آهک	2-1-4-1
27	آلومین - اکسید منیزیم	3-1-4-1
27	ناخالصی‌های سنگ آهن	2-4-1
28	ناخالصی‌های مفید	1-2-4-1
28	آهک (CaO)	1-1-2-4-1
28	ترکیبات منگنزدار	2-1-2-4-1
29	ناخالصی‌های نامطلوب	2-2-4-1

30	 ارزشیابی کانه‌های آهن	5-1-
30	 1-5-1 رطوبت و آب تبلور	
30	 2-5-1 عیار آهن	
31	 3-5-1 بازیسته	
31	 4-5-1 ناخالصی‌ها	
32	 5-5-1 ابعاد	
33	 6-5-1 قابلیت پرعیار شدن	
33	 7-5-1 قابلیت خردایش	
34	 8-5-1 چگونگی عملیات انجام‌شده بر روی سنگ معدن	
35	 6-1 آنالیز شیمیایی کانه‌های آهن و روش بیان	
36	 7-1 مصارف عمده سنگ آهن	

فصل دوم : فرآوری سنگ آهن

41	 1-2 سنگ‌شکنی و خردایش سنگ آهن	
45	 2-2 پرعیار کردن سنگ آهن	
45	 1-2-2 روشهای فیزیکی پرعیار کردن	
45	 1-1-2-2 پرعیار کردن از طریق دانه‌بندی	
46	 2-1-2-2 پرعیار کردن از طریق مالش	
46	 3-1-2-2 پرعیار سازی از طریق جیگ	
47	 4-1-2-2 پرعیار کردن از طریق اسپیرال‌ها	
48	 2-2-2 پرعیار کردن از طریق جداکننده مغناطیسی	
50	 1-2-2-2 جداکننده‌های مغناطیسی خشک با میدان ضعیف	
52	 2-2-2-2 جداکننده‌های مغناطیسی خشک با میدان قوی	

53	3-2-2-2 جداکننده‌های مغناطیسی تر با میدان ضعیف
54	4-2-2-2 جداکننده‌های مغناطیسی تر با میدان قوی
56	3-2-2 تبدیل انواع اکسیدهای آهن به مگنتیت
56	4-2-2 پرعیار کردن از طریق فلوتاسیون
58	3-2- جداسازی فاز مایع از جامد
58	1-3-2 جداسازی از طریق ته‌نشین کردن
60	2-3-2 جداسازی از طریق فیلتر کردن
62	3-3-2 خشک کردن

فصل سوم : آگلومراسیون و روشهای آن

67	1-3- مروری بر تاریخچه آگلومراسیون
68	2-3- روشهای آگلومراسیون
68	1-2-3 خسته سازی
70	2-2-3 کروی کردن
71	3-2-3 اکستروژن در خلأ
72	3-3- روشهای پیشرفته آگلومراسیون
74	1-3-3 کلوخه‌سازی
79	1-1-3-3 مواد خام مورد مصرف در کلوخه‌سازی
79	1-1-1-3-3 مواد آهن‌دار
82	2-1-1-3-3 مواد گدازآور
85	3-1-1-3-3 سوخت جامد
86	4-1-1-3-3 مواد برگشتی کلوخه
87	5-1-1-3-3 اثر آب در کلوخه‌سازی

87	2-1-3-3 آماده کردن اجزاء بار کلوخه و شارژ به دستگاه.....
89	3-1-3-3 دستگاههای کلوخه سازی.....
91	4-1-3-3 مشتعل کردن کلوخه.....
92	5-1-3-3 روشهای صرفه جویی در سوخت جامد.....
93	6-1-3-3 دانه بندی و تفکیک محصولات کلوخه سازی.....
100	7-1-3-3 خصوصیات مؤثر در کیفیت کلوخه.....
100	8-1-3-3 محدودیت های موجود در گسترش استفاده از کلوخه.....
102	2-3-3 گندله سازی.....
103	4-3 آگلومراسیون مخلوط های سوختی.....
104	5-3 آگلومره مرکب.....
105	6-3 جمع بندی نهایی فرآیندهای آگلومراسیون.....

فصل چهارم : گندله و فرایند گندله سازی

109	1-4- گندله سازی، کمکی در امر آماده سازی کانه.....
111	2-4- مواد اولیه برای تولید گندله.....
112	1-2-4 سنگهای آهن.....
112	2-2-4 مواد افزودنی.....
115	3-2-4 آب.....
116	3-4- مکانیسم ساخت گندله.....
118	1-3-4 عوامل مؤثر در تشکیل گندله.....
119	2-3-4 جریان مواد در خط آماده سازی.....
120	4-4- مراحل تولید گندله.....
121	1-4-4 تولید صنعتی گندله خام.....

121	.....	2-4-4	تولید گندله خام در استوانه دوار
123	.....	3-4-4	تولید گندله خام در دیسک
129	.....	5-4-	خشک کردن گندله خام
132	.....	6-4-	پخت گندله خام
133	.....	1-6-4	مراحل پخت گندله خام
134	.....	2-6-4	دستگاههای پخت گندله
136	.....	1-2-6-4	کوره تنوره‌ای
139	.....	2-2-6-4	روش زنجیر متحرک یا روش لورگی
144	.....	3-2-6-4	روش کوره دوار و شبکه متحرک یا روش آلیس چالمرز
148	.....	7-4-	خنک کردن گندله‌های سخت شده
149	.....	8-4-	مقایسه سیستم‌های تولید گندله
150	.....	9-4-	اهمیت راه‌اندازی واحدهای گندله‌سازی

فصل پنجم : واحدهای گندله‌سازی در ایران

154	.....	1-5-	مجتمع گندله‌سازی فولاد اهواز
159	.....	1-1-5	ویژگی‌های دانه‌بندی سنگ آهن در فولاد اهواز
161	.....	2-1-5	آماده‌سازی مخلوط بار گندله در فولاد اهواز
162	.....	3-1-5	تولید گندله خام در دیسک‌های گندله‌ساز فولاد اهواز
164	.....	4-1-5	کوره پخت گندله خام فولاد اهواز
168	.....	5-1-5	عملیات پخت گندله خام در فولاد اهواز
170	.....	2-5-	مجتمع گندله‌سازی فولاد مبارکه اصفهان
173	.....	1-2-5	ویژگی‌های دانه‌بندی سنگ آهن در فولاد مبارکه
174	.....	2-2-5	آماده‌سازی مخلوط بار گندله در فولاد مبارکه

174	 تولید گندله خام در دیسک‌های گندله‌سازی فولاد مبارکه	3-2-5
175	 کوره پخت گندله خام در فولاد مبارکه	4-2-5
176	 سایر تجهیزات واحد آماده‌سازی و گندله‌سازی فولاد مبارکه	5-2-5
177	 مجتمع گندله‌سازی اردکان یزد	-3-5
180	 مجتمع گندله‌سازی گل‌گهر سیرجان	-4-5

فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

189	 نتیجه‌گیری	-1-6
189	 سیستم <i>Grat Kiln</i> (روش آلیس چالمرز)	1-1-6
191	 سیستم <i>Straight Grate</i> (روش لورگی)	2-1-6
192	 پیشنهادات	-2-6

منابع و مأخذ

193	 فهرست منابع فارسی
194	 فهرست منابع لاتین
194	 سایت‌های اطلاع‌رسانی
195	 چکیده انگلیسی

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (1-1): ذخایر سنگ آهن شناخته شده در کشورهای مختلف در سال 2008	10
جدول (2-1): مناطق متمرکز و پراکنده ذخایر آهن در ایران	11
جدول (3-1): مشخصات فیزیکی و شیمیایی مهمترین کانه‌های آهن	23
جدول (4-1): مشخصات سنگ آهن برای مصرف در فولادسازی	25
جدول (5-1): حد مجاز ناخالصی‌هایی که وارد فولاد شده و کیفیت آنرا کاهش می‌دهد	29
جدول (6-1): ترکیبات نامطلوب سنگ آهن از نظر تکنولوژی تولید آهن	29
جدول (7-1): خصوصیات مهم انواع فولاد	37
جدول (1-3): ترکیب شیمیایی نمونه‌ای از پوسته‌های اکسیدی نورد	81
جدول (2-3): ترکیب شیمیایی گازهای متصاعد شده از کوره بلند ذوب آهن اصفهان	81
جدول (3-3): توزیع درصد اندازه ذرات درون گاز خروجی کوره بلند	82
جدول (4-3): مقادیر مجاز گرد و غبار در هوای خروجی فرایند تولید زینتر	102
جدول (1-5): میزان مصرف انرژی در واحدهای مختلف شرکت فولاد اهواز	157
جدول (2-5): قطر و وزن گلوله‌های آسیای مورد استفاده در فولاد اهواز	160
جدول (3-5): جعبه‌های مستقر در ماشین پخت گندله خام نوارزنجیری فولاد اهواز	166
جدول (4-5): ویژگی برخی دمنده‌های دستگاه پخت به‌روش لورگی در فولاد اهواز	168

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
42	شکل (2-1): نمائی از سنگ‌شکن فکی و ژیراتوری.....
44	شکل (2-2): نمائی از یک آسیای گلوله‌ای.....
47	شکل (2-3): نمائی از یک جیگ پرعیارسازی.....
48	شکل (2-4): نمائی از یک اسپیرال.....
49	شکل (2-5): نمائی از یک جداکننده مغناطیسی.....
51	شکل (2-6): نمائی از یک جداکننده مغناطیسی خشک.....
51	شکل (2-7): نمائی از یک جداکننده مغناطیسی خشک با میدان ضعیف.....
55	شکل (2-8): نمائی از یک جداکننده مغناطیسی شدت بالا.....
57	شکل (2-9): نمائی از یک سلول فلوتاسیون.....
60	شکل (2-10): نمائی از یک فیلتر دیسکی.....
61	شکل (2-11): نمائی دیگر از یک فیلتر دیسکی.....
69	شکل (3-1): نمونه‌هایی از خشته تولید شده از کانیهای آهن.....
71	شکل (3-2): نمونه‌ای از چند محصول آگلومراسیون.....
80	شکل (3-3): نمونه‌ای از آرایش سنگ آهن پس از استخراج از معدن.....
89	شکل (3-4): نمائی از اولین دستگاه کلوخه‌سازی.....
90	شکل (3-5): نمائی از دستگاه کلوخه‌سازی به روش گرینوالته.....
91	شکل (3-6): نمائی از ماشین دوايت‌لويده.....

94	.....	شکل (3-7): تجهیزات دریافت و خردکردن کیک کلوخه
96	.....	شکل (3-8): نمایی از روش سردکننده با بستر کم عمق روی شبکه مستقیم
97	.....	شکل (3-9): نمایی از روش سردکننده کلوخه با بستر عمیق
98	.....	شکل (3-10): نمایی از روش سردکننده تنوره‌ای
99	.....	شکل (3-11): نمونه‌ای از دانه‌بندی کلوخه توسط سرنده کردن
101	.....	شکل (3-12): میزان مصرف گندله و زینتر در صنایع تولید فولاد آلمان
109	.....	شکل (4-1): طرح یک کارخانه گندله‌سازی با استفاده از کوره تنوره‌ای
110	.....	شکل (4-2): روشهای جایگزین برای آماده‌سازی کانه آهن
116	.....	شکل (4-3): طرح مکانیسم گلوله‌های تولید شده در اثر غلتیدن ذرات مرطوب
117	.....	شکل (4-4): مراحل جوانه‌زنی، تشکیل گلوله و رشد گندله
120	.....	شکل (4-5): آماده‌سازی مواد برای گندله‌سازی
122	.....	شکل (4-6): نمایی از مجموعه گندله‌سازی به روش استوانه‌دوار
122	.....	شکل (4-7): حرکت چرخشی مواد در یک استوانه‌دوار گندله‌سازی
125	.....	شکل (4-8): نمایی از چند دیسک تولید گندله
125	.....	شکل (4-9): مسیر حرکت مواد در دیسک گندله‌سازی
126	.....	شکل (4-10): تأثیر سرعت چرخش دیسک گندله‌ساز در سرعتهای مختلف
128	.....	شکل (4-11): نمایی از دیسک و خط گندله‌سازی
129	.....	شکل (4-12): نمایش نیروهای کشش و فشار مؤینگی بین دو ذره
131	.....	شکل (4-13): طرح سرعت خشک شدن مواد در مراحل مختلف
138	.....	شکل (4-14): نمایی از کوره تنوره‌ای قائم برای پخت گندله
139	.....	شکل (4-15): نمایی از طرح ماشین پخت گندله به روش بستر متحرک

141	 نمائی از گندله‌سازی به روش زنجیر متحرک.....	شکل (4-16):
142	 نحوه تخلیه گندله خام و پخته‌شده بر روی باند متحرک	شکل (4-17):
143	 تغییرات حرارت گندله در طول باند پخت.....	شکل (4-18):
144	 نمائی از سیستم پخت گندله به روش کوره و شبکه.....	شکل (4-19):
145	 تولید گندله به روش زنجیرمتحرک و کوره‌دوار.....	شکل (4-20):
162	 طرح تجهیزات یک سیستم گندله‌ساز دیسکی در فولاد اهواز.....	شکل (5-1):
164	 تصویر دیسک گندله‌ساز آزمایشگاهی.....	شکل (5-2):
165	 طرح یک پالت متحرک در ماشین نوارزنجیری در فولاد اهواز.....	شکل (5-3):
166	 طرح تجهیزات انتقال گندله خام بر روی پالت‌ها.....	شکل (5-4):
167	 طرح کلی روند جریان گاز در فرایند پخت به‌روش لورگی.....	شکل (5-5):
178	 نمائی از احداث کارخانه گندله‌سازی اردکان	شکل (5-6):
179	 نمائی کامل از مجتمع گندله‌سازی اردکان.....	شکل (5-7):
183	 نمائی از احداث کارخانه گندله‌سازی گل‌گهر.....	شکل (5-8):
184	 نمائی دیگر از احداث کارخانه گندله‌سازی سیرجان.....	شکل (5-9):
184	 نمائی دیگر از احداث کارخانه تولید گندله گل‌گهر.....	شکل (5-10):
185	 نمائی کامل از مجتمع گندله‌سازی گل‌گهر سیرجان.....	شکل (5-11):

چکیده:

در صنایع تغلیظ کانی‌ها و همچنین در حمل و نقل آنها، دانه‌های بسیار ریز از کانی‌های آهن‌دار بوجود خواهد آمد که این ذرات ریز را نمی‌توان به سادگی در صنایع تولید فولاد مورد استفاده قرار داد. مواد و کانی‌های آهن‌داری که برای افزایش عیار آهن اجباراً باید آنها را تا حدود 60 میکرون خرد نمود از ارزش زیادی برخوردارند و این کنسانتره-های با ارزش را نمی‌توان مستقیماً در کوره‌های بلند یا احیاء مستقیم برای تولید فولاد مصرف نمود. لذا طی فرآیندی خاص چنین کنسانتره‌ای را به گندله تبدیل می‌نمایند. از این مواد ریز با مواد چسبنده دانه‌های گلوله مانندی درست می‌کنند و آنان را گندله یا پلت¹ خام می‌نامند.

برای تولید گندله خام، نرمه سنگ آهن و مواد افزودنی که حدود 90 درصد آن زیر 325 مش (معادل 45 میکرون) است با محلولهای تر کننده مانند آب جهت دستیابی به شکل کروی، در دستگاههای گندله‌ساز به چرخش درآورده می‌شوند تا گندله خام تولید گردد. سپس گندله‌های خام را جهت سخت شدن در آتمسفر اکسیدکننده به دقت تا زیر دمای نرم شدن سنگ آهن در تجهیزاتی حرارت داده می‌شوند تا نخست خشک و سپس پخته شوند، بطوریکه درجه تخلخل آنها کاهش نیابد.

در این تحقیق بر مبنای مطالعات صورت گرفته از کتب و مجموعه مقالات مختلف و با توجه به تحلیل‌های فنی انجام شده در زمینه روشهای تولید گندله و بخصوص تکنولوژی‌های پخت این فراورده میانی جهت تولید فولاد به نتایج بسیار روشنی از دید فنی حاصل شد. در نهایت بر مبنای مقایسه‌های انجام شده از دید فنی در رابطه با روشهای تولید گندله سنگ آهن، نتایج بدست آمده از این تحقیق را می‌توان به عنوان ابزاری جهت تصمیم‌گیری مطلوب‌تر مورد استفاده و بهره‌برداری قرار داد.

¹ - Pellet