دانشکده مهندسی معدن و متالورژی

گروه فراوری مواد معدنی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

فرآوری مواد معدنی

ارزیابی مدار آسیاکنی کارخانه سیمان داراب

اساتید راهنما:

دکتر علی دهقانی

دکتر محمد نوعپرست

استاد مشاور: مهندس خداکرم غریبی

پژوهش و نگارش: لیلا مجاز

اسفند 1388

تقدیم به :

پدر و مادرم

به پاس عاطفه سرشارو قلب های بزرگشان

همسرم

به پاس محبت های بی دریغش

و فرزندم

که وجودش امید بخش زندگی ام است

به نام پروردگار یکتا

در این جا لازم می دانم از استاتید راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر علی دهقانی و جناب آقای دکتر محمد نوعپرست که بدون کمک و مساعدت ایشان انجام این پایان‌نامه برایم مقدور نبود و همواره مرا از راهنمایی‌های بی‌دریغ خود بهره‌مند ساختند،

از استاد مشاورم جناب آقای خدا کرم غریبی که در طول این پایان‌نامه مرا از پیشنهادهای سازنده و ارزنده خود بهره‌مند ساختند، از همکلاسی ارجمندم آقای سعید حسنی، از جناب آقای مهندس آزاد شده و سایر دوستان که در انجام این پروژه مرا یاری کردند،

از پرسنل محترم کارخانه سیمان به ویژه آقای مهندس سارانی مدیریت محترم کارخانه و مهندس درخشان مدیر بهره برداری کارخانه که مساعدت لازم را با اینجانب داشتند، تشکر و قدردانی داشته باشم.

چکیده

صنایع سیمان یکی از صنایع بزرگ با مصرف بالای انرژی می‌باشد، که عمده مصرف انرژی در این صنعت مربوط به واحد آسیا کنی سیمان است. در کارخانه سیمان معمولاً برای خردایش کلینکر سیمان از آسیای لوله‌ای استفاده می‌شود. آسیای لوله‌ای در واقع نوع طویل آسیای گلوله‌ای است که به وسیله دیافراگم به دو قسمت تقسیم شده است. هدف از این تحقیق، شبیه‌سازی آسیای لوله‌ای کارخانه سیمان داراب می‌باشد.

بدین منظور آسیای لوله‌ای به صورت دو آسیای گلوله‌ای که به صورت سری عمل می‌کنند، در نظر گرفته شد. دیافراگم داخلی آسیا نیز به صورت یک سرند فرض شد که مانع عبور ذرات درشت به بخش بعدی آسیا می‌شود. به منظور شبیه‌سازی نمونه‌هایی از خوراک و محصول آسیای لوله‌ای تهیه شد و آزمایش‌های خردایش بر روی نمونه تک سایز شده، توسط آسیای گلوله‌ای آزمایشگاهی انجام شد. توابع شکست و توابع انتخاب به کمک نرم‌افزار BFDS بدست آمد. سپس پارامترهای لازم برای شبیه‌سازی برای هر کدام از اتاقچه‌های آسیای لوله‌ای، شامل پارمترهای مربوط به تابع شکست به سه روش بروبه، هربست و فورستنا و اصلاح شده هربست و فورستنا، پارامترهای بزرگ مقیاس شده تابع انتخاب، زمان ماند متوسط و پارامترهای مربوط به سرند در نظر گرفته شده محاسبه شدند. ماکزیمم تابع انتخاب آزمایشگاهی برای ابعاد $(1000 + 1400-)$ میکرون برابر با $1/205$بر دقیقه بدست آمد، درحالی‌که حداکثر تابع انتخاب بزرگ مقیاس شده برای اتاقچه اول آسیای لوله‌ای برای ابعاد $(8000 + 11200-)$ میکرون برابر با $1/366$ بر دقیقه و برای اتاقچه دوم آسیا برای ابعاد $(4000 + 8000-)$ میکرون برابر با $1/375$ بر دقیقه بدست آمد.

برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار MODSIM استفاده شد. از بین مدل‌های موجود در نرم‌افزار برای آسیای گلوله‌ای سه مدل MILL، HFMI و GMILL انتخاب شدند. مقایسه نتایج بدست آمده نشان داد که روند آسیا کنی در مدار واقعی و مدار شبیه‌سازی شده تقریباً به هم نزدیک می‌باشد. از بین این سه مدل انتخاب شده، مدل MILL سازگاری بیشتری با نتایج واقعی داشت.

با استفاده از شبیه‌سازی دانه‌بندی محصول آسیای لوله‌ای با تغییر شرایط عملیاتی (تغییر اندازه گلوله، تناژ خوراک و درجه انباشتگی) پیش بینی شد. نتایج نشان داد که افزایش تناژ خوراک و کاهش درجه انباشتگی گلوله ها در آسیا باعث کاهش کیفیت محصول از نظر دانه بندی می شود.

کلمات کلیدی: کلینکر، آسیای لوله ای، شبیه‌سازی، تابع شکست، تابع انتخاب، زمان ماند متوسط
نرم‌افزار MODSIM

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

مقدمه 1

1-1- مقدمه 4

1-2- کلیاتی در مورد سیمان 5

1-3- ترکیبات اصلی سیمان 7

1-3-1- $C3S$ (آلیت) 8

1-3-2- $C2S$ (بلیت) 8

1-3-3- $C3A$ 8

1-3-4- $C4AF$ 8

1-4- انواع سیمان 9

1-5- کارخانه سیمان داراب 11

1-6- بررسی خط تولید در کارخانه سیمان داراب 11

1-6-1- معدن 11

1-6-2- سنگ شکن 12

1-6-3- سالن خاک 13

1-6-4- آسیای مواد خام 13

1-6-5- پیش گرمکن 14

1-6-6- کوره دوار 14

1-6-7- آسیای سیمان 15

1-6-7-1- ارزیابی محصول 18

1-6-8- بارگیر خانه 19

فصل دوم: مقدمه ای بر مدل سازی

2-1- مقدمه 24

2-2- مدل‌سازی 2523

2-2-1- انواع مدل 23

2-2-1-1- مشخصات temporal 23

2-2-1-2- روش derivation 24
2-2-2- ایجاد مدل 25
2-2-3-کاربرد مدل‌ها 26
2-2-4- مدل‌سازی و شبیه‌سازی 27
2-3- فرآیند آسیا کنی 27
2-4- مکانیزم حرکت گلوله‌ها در آسیا 28
2-5- مدل‌سازی خردایش 29
2-6- مفاهیم اولیه در مدل‌سازی خردایش 32
2-7- مکانیزم‌های شکست یک ذره *33*
2-7-1- مکانیزم ضربه 33
2-7-2- مکانیزم شکاف برداشتن 34
2-7-3- مکانیزم سایش 35
2-8- تابع شکست 36
2-8-1- انواع تابع شکست 38
2-8-2- تعیین تابع شکست 39
2-8-3- روش‌های تعیین تابع شکست 40
2-8-3-1- روش‌های مبتنی بر آزمایش‌های شکست تک ذره 41
2-8-3-1-1- روش آزمایش سقوط وزنه 41
2-8-3-1-2- روش آزمایش آونگ دوقلو 43
2-8-3-2- روش‌های مبتنی بر آزمایش‌های آسیا کردن 44
2-8-3-3- روش‌های مبتنی بر محاسبات برگشتی 45
2-8-4- مدل‌سازی ریاضی داده‌های تابع شکست 46
2-8-5- مدل‌های تابع شکست *46*
2-8-5-1- ترکیب جامعه‌هایی با توزیع لگاریتمی 46
2-9- تابع انتخاب 51
2-9-1- تأثیر عوامل عملیاتی بر تابع انتخاب 52
2-9-1-1- اندازه ذره 52
2-9-1-2- اندازه گلوله 52
2-9-1-3- اندازه آسیا 53

2-9-2- عوامل موثر بر انحراف از سینتیک مرتبه یک در خردایش 53
2-9-2-1- طبقه بندی داخلی 53
2-9-2-2- ویسکوزیته پالپ 53
2-9-2-3- سنگ معدن ناهمگن 54
2-9-3- مدل‌های تابع انتخاب در آسیاهای گلوله‌ای 54
2-9-3-1- مدل آستین برای نرخ ویژه شکست 54
2-9-3-2- بزرگ مقیاس کردن تابع انتخاب آستین 56
2-9-3-3- مدل هربست و فورستنا برای نرخ ویژه شکست 61
2-10- زمان ماند *63*

فصل سوم: تعیین پارامترهای مدل سازی آسیای لوله ای

3-1- مقدمه 69
3-2- دانه‌بندی خوراک و محصول آسیای لوله‌ای 72
3-3- تعیین تابع شکست خوراک آسیای لوله‌ای 71
3-4- محاسبه پارامترهای مربوط به تابع شکست 87
3-5- تعیین تابع انتخاب 88
3-6- محاسبه پارامترهای مربوط به تابع انتخاب 92
3-6-1- مدل تابع انتخاب آستین 92
3-6-2- بزرگ مقیاس کردن تابع انتخاب آستین 92
3-6-2-1- بزرگ مقیاس کردن $S1$ 93
3-6-2-2- بزرگ مقیاس کردن μ 96
3-6-3- مدل تابع انتخاب هربست و فورستنا 100
3-7- محاسبه زمان ماند مواد در آسیا 102
3-8- درصد شارژ آسیا و درجه انباشتگی 104
3-9- محاسبات مربوط به دیافراگم آسیا *105*

فصل چهارم:شبیه سازی آسیای لوله ای کارخانه سیمان داراب

4-1- مقدمه 108
4-2- نرم‌افزار MODSIM 108

4-3- رسم فلوشیت 110
4-4- ورود اطلاعات شاخه‌ها 110
4-5-ورود داده‌های مربوط به مدل انتخاب شده برای هر کدام از واحدها 111
4-5-1- مدل‌های آسیای گلوله‌ای 111
4-5-1-1- مدل Mill 111
4-5-1-2- مدل HFMI (مدل هربست و فورستنا برای آسیای گلوله‌ای) 112
4-5-1-3- مدل GMIL 114
4-5-2- مدل انتخاب شده برای سرند 115
4-5-2-1- مدل CSCR 115
4-6- شبیه سازی آسیای لوله‌ای 115
4-7- اندیس کار خوراک آسیای لوله‌ای کارخانه سیمان 122
4-7-1- محاسبه قطر بهینه گلوله 125
4-8- تأثیر پارامترهای عملیاتی بر نتایج شبیه‌سازی 127
4-8-1- اندازه گلوله 128
4-8-2- تناژ خوراک 129
4-8-3- درجه انباشتگی 131

فصل پنجم:نتیجه گیری

نتیجه گیری *134*
پیشنهادات 136
منابع 137

فهرست جدول‌ها

جدول**1-1**- برخی از مشخصات سیمان پرتلند نوع 2.....9

جدول**1-2**- برخی از مشخصات سیمان پرتلند نوع 5.....10

جدول1-3- مشخصات آسیای لوله‌ای کارخانه سیمان داراب.....17

جدول1-4- رابطه بین سطح مخصوص و d_{80} 19

جدول3-1- ترکیب گلوله‌های استفاده شده برای انجام آزمایش‌های خردایش.....71

جدول3-2-نتایج آنالیز سرندی فراکسیون ابعادی $\frac{7}{16}$ **in** (11200میکرون).....72

جدول3-3- نتایج آنالیز سرندی فراکسیون ابعادی $\frac{5}{16}$ **in** (**8mm**).....73

جدول3-4- نتایج آنالیز سرندی فراکسیون **No**.5 (**4mm**).....73

جدول3-5- نتایج آنالیز سرندی فراکسیون **No**.10 (**2mm**).....74

جدول3-6- نتایج آنالیز سرندی فراکسیون **No**.14 (**1/4mm**).....74

جدول3-7- نتایج آنالیز سرندی فراکسیون **No**.18 (**1mm**).....75

جدول3-8- نتایج آنالیز سرندی
فراکسیون35.**No**(0/5**mm**).....75

جدول3-9- نتایج آنالیز سرندی
فراکسیون45.**No**(0/355**mm**).....76

جدول3-10- نتایج آنالیز سرندی فراکسیون
70.**No**(0/212**mm**).....76

جدول3-11- نتایج آنالیز سرندی
فراکسیون100.**No**(0/150**mm**).....77

جدول3-12- نتایج آنالیز سرندی فراکسیون
140.**No**(0/106**mm**).....77

جدول3-13- ضرایب محاسبه شده معادله برادبنت و کالکات توسط
نرم‌افزار**BFDS**.....78

جدول3-14- تابع شکست تجمعی محاسبه شده به روش
بروبه.....79

جدول3-15-تابع شکست غیر تجمعی به روش
بروبه.....80

جدول3-16- تابع شکست تجمعی به روش هربست و
فورستنا.....81

جدول3-17- تابع شکست غیر تجمعی به روش هربست و
فورستنا.....82

جدول3-18- تابع شکست تجمعی به روش اصلاح شده هربست و
فورستنا.....83

جدول3-19- تابع شکست غیر تجمعی به روش اصلاح شده هربست و فورستنا.....84

جدول3-20- مقادیر محاسبه شده پارامترهای مربوط به تابع
شکست.....87

جدول3-21- مقادیر تابع انتخاب محاسبه شده توسط نرم‌افزار**BFDS**
91

جدول3-22- مقادیر پارامترهای لازم برای بزرگ مقیاس کردن
S_1 95

جدول3-23- ترکیب و تناژ گلوله در اتاقچه اول آسیای لوله‌ای 96

جدول3-24- ترکیب و تناژ گلوله در اتاقچه دوم آسیای لوله‌ای 96

جدول3-25- مقادیر تابع انتخاب بزرگ مقیاس شده به ازای فراکسیون ابعادی مختلف برای اتاقچه اول آسیا 98

جدول3-26- مقادیر تابع انتخاب بزرگ مقیاس شده به ازای فراکسیون ابعادی مختلف برای اتاقچه دوم آسیا 98.

جدول3-27- مقادیر تابع انتخاب و انرژی– تابع انتخاب ویژه محاسبه شده 101

جدول4-1- مقادیر پارامترهای لازم برای شبیه‌سازی آسیای لوله‌ای در مدل MILL مادسیم
112

جدول4-2- مقادیر پارامترهای لازم برای شبیه‌سازی آسیای لوله‌ای با استفاده از مدل HFMI
114

جدول4-3- پارامترهای لازم برای شبیه‌سازی دیافراگم آسیا با استفاده از مدل CSCR 115

جدول4-4- مقایسه مقادیر تناژ جامد شبیه‌سازی شده در شاخه‌های مختلف در مدل‌های MILL، HFMI **و** GMIL (کیلو گرم بر ثانیه) 121

جدول4-5- درصد بار در گردش شاخه مدار شبیه‌سازی شده آسیای لوله‌ای 121

جدول4-6- مقادیر d_{80} محصول شبیه‌سازی شده آسیای لوله‌ای.....122

جدول4-7- اندیس کار خوراک آسیای لوله‌ای کارخانه سیمان در چند شیفت مختلف.....124

جدول4-8- ترکیب گلوله‌های لازم برای شارژ آسیای گلوله‌ای.....126

جدول4-9- ترکیب گلوله‌های انتخاب شده بر اساس اندیس کار باند.....127

فهرست شکل‌ها

شکل1-1- نمونه‌ای از دانه‌های کلینکر.....7

شکل1-2- کوره و قسمت‌های مختلف آن.....15

شکل 1-3- نمایی ازآسیای لوله‌ای کارخانه سیمان.....16

شکل1-4- وسیله طبقه بندی در کارخانه سیمان.....17

شکل2-1- حرکت آبشاری گلوله‌ها در اطاقچه اول آسیا.....29

شکل2-2- مکانیزم ضربه که طیف وسیعی از ابعاد ذرات را تولید می‌کند.....34

شکل2-3- مکانیزم شکاف برداشتن بدون شکست متوالی ذرات تولید شده.....35

شکل2-4- مکانیزم سایش ذره که تولید ذرات بسیار ریز و ذرات نزدیک به ابعاد اولیه می‌کند.....
36

شکل2-5- شکل شماتیکی تابع شکست قابل نرمال شدن.....38

شکل2-6- شکل شماتیکی تابع شکست غیر نرمال.....39

شکل2-7- نمونه دستگاه سقوط وزنه.....42

شکل2-8- نمای شماتیک آزمایش آونگ دوقلو..... 44

شکل2-9- نمونه‌ای از تابع شکست که روش محاسبه پارامترهای φ وγوβ رانشان می‌دهد..... 48

شکل2-10- تابع شکست غیر نرمال که تأثیر اندازه ذره را نشان می‌دهد..... 49

شکل2-11- توابع شکست برای ذراتی با ابعاد مختلف، توزیع در ذرات بزرگ‌تردو نمایی شده است..... 50

شکل2-12- ساختار نموداری به منظور محاسبه پارامترهای مدل تابع انتخاب آستین..... 55

شکل2-13- ثابت‌های هندسی برای بزرگ مقیاس کردن که مربوط به بار درون آسیا در حالت ایستا است..... 60

شکل2-14- روش نموداری برای تعیین پارامترهای مدل تابع انتخاب هربست و فورستنا..... 62

شکل2-15- توزیع زمان ماند در یک مخلوط کننده پیستونی..... 65

شکل2-16- توزیع زمان ماند در یک مخلوط کننده کامل..... 66

شکل2-17- توزیع زمان ماند در یک آسیای گلوله‌ای..... 67

شکل3-1- توزیع ابعادی خوراک آسیای لوله‌ای..... 69

شکل3-2- توزیع دانه‌بندی محصول آسیای لوله‌ای.....70

شکل3-3- نمودار تابع شکست تجمعی به روش هربست و فورستنا در فراکسیون‌های مختلف.....85

شکل3-4- نمودار تابع شکست تجمعی به روش بروبه در فراکسیون‌های ابعادی مختلف.....86

شکل 3-5- نمودار تابع شکست تجمعی به روش اصلاح شده هربست و فورستنا در فراکسیون‌های ابعادی مختلف.....86

شکل3-6- نمودار تابع انتخاب فراکسیون $\frac{7}{16}$ in.....88

شکل3-7- نمودار تابع انتخاب فراکسیون $\frac{5}{16}$ in.....88

شکل3-8- نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.5.....88

شکل3-9- نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.10.....88

شکل3-10- نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.14.....89

شکل3-11- نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.18.....89

شکل3-12-نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.35.....89

شکل3-13-نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.45.....89

شکل3-14- نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.70.....90

شکل3-15- نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.100.....90

شکل3-16- نمودار تابع انتخاب فراکسیون No.140.....90

شکل3-17- نمودار تابع انتخاب نسبت به ابعاد ذره.....91

شکل3-18- مقادیر R و H_c برای محاسبه درصد شارژ آسیا..... 94

شکل3-19- نمودار بزرگ مقیاس شده تابع انتخاب نسبت به ابعاد ذره در اتاقچه اول آسیای لوله‌ای.....99

شکل3-20- نمودار بزرگ مقیاس شده تابع انتخاب نسبت به ابعاد ذره در اتاقچه دوم آسیای لوله‌ای.....99

شکل3-21- منحنی انرژی- تابع انتخاب ویژه نسبت به ابعاد ذره.....102

شکل 3-22- طرح مقطع آسیا.....103

شکل3-23- دیافراگم بین دو اتاقچه آسیا و مقطع آن.....106

شکل4-1- فلوشیت رسم شده برای مدار آسیای لوله‌ای در نرم‌افزارMODSIM 110

شکل4-2- مقایسه محصول شبیه‌سازی شده با محصول واقعی مدلMILL، به روش

بروبه.....
116
شکل4-3- مقایسه محصول واقعی و محصول شبیه‌سازی شده مدل MILL، روش
هربست و
فورستنا.....116

شکل4-4- مقایسه محصول واقعی و محصول شبیه‌سازی شده مدل MILL، روش
اصلاح شده هربست و فورستنا.....117
شکل4-5-مقایسه محصول واقعی و محصول شبیه‌سازی شده مدل HFMI روش

بروبه.....
117
شکل4-6- مقایسه محصول واقعی و محصول شبیه‌سازی شده مدل HFMI روش
هربست و
فورستنا.....118
شکل4-7- مقایسه محصول واقعی و محصول شبیه‌سازی شده مدل HFMI روش
اصلاح شده هربست و
فورستنا.....118
شکل4-8- مقایسه محصول واقعی و محصول شبیه‌سازی شده مدل GMILL روش

بروبه.....119
شکل4-9- مقایسه محصول واقعی و محصول شبیه‌سازی شده مدل GMILL روش
هربست و
فورستنا.....119

شکل4-10- مقایسه محصول واقعی و محصول شبیه‌سازی شده مدل GMILL روش اصلاح شده هربست و فورستنا.....120

شکل4-11- نمودار تابع انتخاب بزرگ مقیاس شده با استفاده از گلوله‌های بزرگتر.....128

شکل4-12- مقایسه محصول شبیه سازی شده و محصول واقعی آسیا با تغییر اندازه گلوله.....129

شکل4-13- شبیه‌سازی محصول آسیا در حالت تناژ جامد برابر با 120 تن در ساعت.....130

شکل4-14-شبیه‌سازی محصول آسیا در حالت تناژ جامد برابر با 90 تن در ساعت.....130

شکل 4-15- مقایسه محصول شبیه سازی شده با محصول واقعی با تغییر درجه انباشتگی آسیا.....132

مقدمه

در حال حاضر هزاران واحد تولیدی در دنیا سیمان تولید می‌کنند و میزان تولید سیمان در سال 2008، 2 میلیارد و 857 میلیون تن بوده است. فرآیند آسیاکنی نزدیک به ۲٪ از انرژی الکتریسته تولیدی در کل جهان را به مصرف خود می‌رساند. مرحله ی خردایش سیمان تقریبا یک سوم انرژی مورد نیاز برای تولید یک تن سیمان را مصرف می کند که این بطور متوسط برابر مصرف ویژه توان $57\ ^{kw}/_{ton}$ می باشد.[15]

عمل خردایش سیمان معمولاً به وسیله آسیاهای لوله‌ای دو اتاقچه‌ای[1] و به روش خشک انجام می‌شود. نزدیک به ۹۵٪ خوراک مواد آسیای سیمان کلینکر است و باقیمانده‌ی خوراک افزودنیهایی مانند گچ و آهک هستند. کیفیت سیمان با اندازه‌گیری سطح مخصوص (شاخص بلین[2]) تعیین می شود. سطح مخصوص پودر سیمان بستگی به توزیع ابعادی ذرات سیمان دارد. (ذرات کوچکتر سطح مخصوص بیشتری دارند).

شبیه سازی یک ابزار ارزشمند در تکنولوژی فرآیند می‌باشد. برای یک شبیه‌سازی درست باید مدل‌های فرآیند در دسترس باشد و همچنین بتوان پارامترهای لازم برای شبیه‌سازی را در آزمایشگاه یا کارخانه تعیین کرد. در سال‌های اخیر استفاده زیادی از شبیه‌سازی برای طراحی و بهینه‌سازی مدارهای خردایش تر شده است که نتایج اقتصادی سودمندی را نیز در پی داشته است. اما تحقیقات کمی در مورد شبیه‌سازی مدارهای خردایش خشک انجام شده است.

هدف از این پروژه بررسی امکان شبیه‌سازی آسیای لوله‌ای کارخانه سیمان داراب با استفاده از نرم‌افزارMODSIM است که این نرم‌افزار به منظور شبیه‌سازی کارخانه‌های فرآوری به کار می‌رود. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی می‌توان عملکرد آسیا را در شرایط مختلف پیش بینی کرد و یا اینکه از نتایج این شبیه‌سازی برای کارخانه‌های دیگر استفاده نمود.

این گزارش در پنج فصل ارائه می‌گردد. در فصل اول کلیاتی از سیمان و کارخانه سیمان داراب ذکر می‌شود. در فصل دوم به تعریف مدل‌سازی و پارامترهای مورد نیاز برای شبیه‌سازی با توجه به

1-Two Compartment

2 -Blaine