

۲۰۲۷ ۵۲۱

# راهنمای جامع تولید سنگدانه‌ی بتن و آسفالت

---

تالیف:

پژمان تیموری

(مشاور فنی بتن و آسفالت)

[www.ketab.ir](http://www.ketab.ir)

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

سرشناسه  
 عنوان و نام پدیدآور  
 مشخصات نشر  
 مشخصات ظاهری  
 شابک  
 وضعیت فهرست نویسی  
 موضوع  
 موضوع  
 موضوع  
 شناسه افزوده  
 رده‌بندی کنگره  
 رده‌بندی دیویی  
 شماره کتابشناسی ملی

: تیموری، پژمان، ۱۳۵۳-  
 : راهنمای جامع تولید سنگدانه‌ی بتن و آسفالت/ تالیف پژمان تیموری،  
 : تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، انتشارات، ۱۳۹۸.  
 : ۱۳۴۴ ص.: مصور.  
 : ISBN: 978-964-210-297-6 ریال: ۹۸۰۰۰۰  
 : فیبا  
 : بتن آسفالتی -- Asphalt concrete  
 : آسفالت - افزوده‌ها - Asphalt - Additives  
 : روسازی با آسفالت - Pavements, Asphalt  
 : جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. انتشارات  
 : ۱۳۹۸ ت ۹ ب ۲ / ۴۴۳ TA  
 : ۶۲۵/۸۷  
 : ۵۶۳۰۸۲۷

این کتاب در جلسه مورخ ۱۹/۰۹/۹۷ شورای نشر کتاب  
 جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر پس از طی مراحل  
 ارزیابی علمی، مجوز چاپ و انتشار، دریافت نموده است.



واحد صنعتی امیرکبیر

راهنمای جامع تولید سنگدانه‌ی بتن و آسفالت

تالیف: پژمان تیموری

: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

ناشر

: دکتر مهدی ورسه‌ای

مدیر مسؤول

: اول

نوبت چاپ

: ۱۳۹۸

سال چاپ

: وزیری

قطع

: ۱۰۰۰ نسخه

شمارگان

: ۹۸۰۰۰۰ ریال

قیمت

: آرزو انصاری

طراح

: اصیل

چاپخانه

ISBN: 978-964-210-297-6

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۱۰-۲۹۷-۶

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی خیابان سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر،  
 انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶ + تلفکس: ۹۵۰ ۹۸۲ ۹۸۲۱۶۶ +  
 www.jdamirkabir.ac.ir

فروشگاه اینترنتی:

## پیشگفتار

سنگدانه‌ها شاکله‌ی اصلی بتن، آسفالت، بدنه‌ی سدهای خاکی، مصالح فیلتر و بسیاری از مخلوط‌های سنگدانه را که برای اهداف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، تشکیل می‌دهند. کیفیت سنگدانه‌ها نقش بسزایی در طول عمر و دوام بتن، زیرسازی و روسازی راه‌ها و بطور کلی مصالح مرکب متشکل از سنگدانه‌ها دارد. طول عمر و دوام سازه‌های بتنی و زیرسازی-روسازی راه‌ها در کشورمان پایین است که مهم‌ترین دلیل آن سوای کیفیت اجزاء، ناشی از کیفیت پایین سنگدانه‌ها است. مهم‌ترین شاخص کیفی سنگدانه‌ها که تا کنون در کشور ما مغفول مانده، شکل سنگدانه‌ها می‌باشد. شکل سنگدانه‌ها بر روی بسیاری از خواص بتن و آسفالت سخت‌شده بالاخص بر روی تراکم آنها تاثیر دارد. تراکم این اجزای مرکب متشکل از سنگدانه، نقش بسیار زیادی در میزان نفوذپذیری و به تبع آن دوام و طول عمر بتن و آسفالت دارد.

امروزه بدلیل فقر منابع قرضه‌ی طبیعی و یا کمبود منابع قرضه‌ی باکیفیت، نیاز به تولید و مصرف سنگدانه‌های شکسته اعم از شن و ماسه در پروژه‌های مختلف عمرانی می‌باشد. متأسفانه در کشورمان سنگدانه‌های درشت (شن) شکسته با درصد بالای تیزگوشگی و قطعات پولکی-سوزنی فراوان تولید می‌شوند که تاثیر مخربی بر روی تراکم بتن دارند. بعلاوه، درصد نرمه و دانه‌های تیزگوشه در ماسه‌های شکسته نیز بسیار زیاد است که این امر به نوبه‌ی خود مشکلات خاصی در پی دارد.

هرچه شکل سنگدانه‌ها به سمت مکعبی و شبه‌مکعبی با وجوه سایش‌یافته سوق یابد و درصد سنگدانه‌های پولکی-سوزنی کاهش یابد، متعاقب آن میزان تراکم بتن و آسفالت نیز افزایش می‌یابد.

تولید سنگدانه‌های با شکل‌های مکعبی و شبه‌مکعبی با وجوه سایش‌یافته، نیاز به تبحر و تکنیک‌های خاصی در خطوط خردایش و سنگ‌شکنی برای تولید سنگدانه‌ها دارد. در کتاب حاضر، با در نظر گرفتن کلیه‌ی الزامات مهم برای تولید سنگدانه‌ها، منجمله الزامات بهبود شکل سنگدانه‌ها، راهکارهای تولید سنگدانه‌های ریز (ماسه) و درشت (شن) باکیفیت بالا، یعنی سنگدانه‌هایی که بشرط صحت اجزاء بتوانند متضمن حداکثر تراکم ممکن در بتن، آسفالت و ... باشند، ارائه شده است. در این راستا علاوه بر ارائه‌ی راهکارهای اجرایی، مطالعات مدل‌سازی که توسط محققین مختلف جهت اصلاح شکل سنگدانه‌ها،

کاهش درصد پولکی-سوزنی، افزایش بازدهی تولید یک محدوده‌ی ابعادی خاص، کاهش و کنترل سایش سنگ‌شکن‌ها و ... بعمل آمده، ارائه گردیده تا بتواند مبنایی برای استفاده‌ی دانشجویان عزیز در مطالعات تحقیقاتی نظیر پایان‌نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی باشد، بلکه از این طریق بتوانند به ارتقای هرچه بیشتر دانش تولید سنگدانه‌های باکیفیت، کمک نمایند و به تع آن صنعتگران و تولیدکنندگان تجهیزات خردایش و شستشوی سنگدانه‌ها نیز بتوانند پروفیل‌های صفحات خردکننده‌ی سنگ‌شکن‌ها را بهینه نمایند تا تولید سنگدانه‌های مکعبی و شبه‌مکعبی افزایش یافته و درصد سنگدانه‌های پولکی-سوزنی و نیز میزان تولید نرمه کاهش یابد.

مطالب و فصول کتاب بنحوی تنظیم گردیده که مهندسین شاغل در امور اجرایی نیز سهولت می‌توانند سراغ مطالب مورد علاقه‌ی خویش بروند یا اینکه علاوه بر نکات اجرایی مهم در عملیات خردایش و تولید سنگدانه، به مطالعه‌ی مبانی نظری و شرح مطالعات و تحقیقات ذکرشده نیز بپردازند تا بدینوسیله دانش نظری خود را نیز ارتقاء دهند. طبیعتاً دانشجویان عزیز نیز می‌توانند با مطالعه‌ی نکات اجرایی و درک معضلات اجرایی ناشی از کاربرد سنگدانه‌های نامناسب در بتن و آسفالت، دید و شناخت بهتری نسبت به الزامات فنی مورد نیاز برای تولید سنگدانه و نیز نیازمندی‌های صنایع تولیدکننده‌ی تجهیزات خردایش و شستشوی سنگدانه داشته باشند بدین ترتیب، دانشجویان عزیز قادر به ارائه‌ی کمک‌های شایانی جهت ارتقای فنون و تکنیک‌های خردایش بهینه بر اساس اهداف تولید سنگدانه خواهند بود.

سواى مشکلات ناشی از تولید سنگدانه‌های فاقد کیفیت و عواقب سوء ناشی از کاربرد آنها در بتن، آسفالت و ...، باید توجه داشت که عدم کامیابی در تولید بتن و آسفالت با دوام، به نوعی ریشه در نقص سیستم آموزشی ما دارد که خلاء بسیار بزرگی در فرآیند یادگیری و دانش‌اندوزی در رشته‌های مختلف دانشگاهی ایجاد کرده است. مهندسین معدن واحدهای دانشگاهی مرتبط با خردایش را که برای تولید سنگدانه‌ی مصرفی در بتن و آسفالت اهمیت دارند، سپری می‌نمایند، لیکن در ایام تحصیلات دانشگاهی، هیچ آموزشی حداقل در رابطه با خواص بتن و یا حتی خواص و شیمی سیمان دریافت نمی‌کنند، چه رسد به افزودنی‌های بتن و قیر مورد استفاده در انواع آسفالت.

از طرف دیگر، مهندسین عمران علیرغم سپری نمودن واحدهای دانشگاهی مرتبط با طراحی سازه‌های بتنی، هیچ آموزشی در زمینه‌ی خردایش و تولید مصالح و نیز خواص و شیمی سیمان دریافت نمی‌کنند. نکته‌ی مهم‌تر این است که تولید و ساخت بتن مستلزم کاربرد بسیاری از مواد افزودنی شیمیایی است و مهندسین عمران که با بتن و آسفالت سر و کار مستقیم دارند، هیچ واحد دانشگاهی مرتبط با شیمی آلی و معدنی را سپری نمی‌نمایند تا بتوانند ساز و کار و اندرکنش افزودنی‌های بتن و سیمان و نیز خواص قیر را بخوبی درک و تفسیر نمایند.

مهندسين شيمي که در زمينه‌ی توليد مواد افزودنی بتن و آسفالت (اصلاح‌کننده‌های آسفالت و ... ) فعاليت می‌کنند، همانند مهندسين معدن و عمران، مشمول گسست دانش میان‌رشته‌ای هستند. علیرغم اهميت بتن و آسفالت، مهندسين شيمي نیز در دوران دانشگاه، هیچ آموزشی در خصوص شيمي سیمان، توليد سنگدانه و ... دريافت نمی‌کنند.

بعلاوه، مهندسين زمین‌شناس نیز در امور مرتبط با بتن و آسفالت سر و کار دارند، لیکن آنان نیز آموزش‌های مرتبط با توليد سنگدانه، شيمي سیمان و ... را در طی تحصیلات دانشگاهی دريافت نمی‌نمایند.

مشکلات و گسست‌های آموزشی یادشده، لزوم تعريف پایان‌نامه‌های دانشگاهی بین‌رشته‌ای توسط اساتید محترم دانشگاه را دو چندان می‌سازد. کتاب حاضر برای پرکردن خلأ موجود در زمينه‌ی دانش مرتبط با توليد مصالح سنگدانه نگاشته‌شده و به همین دلیل مطالعه‌ی آن برای حل بسیاری از مشکلات بتن، آسفالت، مخلوط‌های سنگدانه و ... توصیه می‌شود.

صمیمانه امیدوارم کتاب حاضر که از تلفیق سالیان متمادی تجربه‌ی توليد سنگدانه و مطالعه‌ی متون مختلف در زمينه‌ی توليد سنگدانه برای عملیات عمرانی حاصل شده، کاملاً مورد رضایت خوانندگان عزیز قرار گیرد. صمیمانه تقاضا دارم خوانندگان عزیز نظرات ارزنده‌ی خویش را به پست الکترونیکی اینجانب [Pejmantmr@gmail.com](mailto:Pejmantmr@gmail.com) ارسال نمایند.

## فهرست

۲۵	فصل ۱ : مبانی خردایش و مکانیسم‌های شکست ذرات
۲۵	مقدمه
۲۹	۱- مفهوم خردایش و هدف از عملیات خردایش
۳۰	۲- خواص موثر سنگ‌ها در خردایش و روش اندازه‌گیری آنها
۳۰	۱-۲- کانی‌ها
۳۲	۲-۲- سنگ‌ها
۳۳	۳-۲- سختی کانی‌ها و سنگ‌ها
۳۴	۴-۲- طبقه‌بندی زمین‌شناسی سنگ‌ها
۳۵	۵-۲- روش‌های تعیین خواص مصالح سنگ
۳۵	۱-۵-۲- اندازه‌ی ذرات
۳۶	۲-۵-۲- توزیع اندازه‌ی ذرات
۳۸	۳-۵-۲- شکل ذرات و اهمیت آن
۴۱	۱-۳-۵-۲- اندازه‌گیری شاخص پولکی (FI) شکل ذرات
۴۱	۴-۵-۲- قابلیت خردایش
۵۰	۱-۴-۵-۲- مقدار لوس‌آنجلس به عنوان شاخصی از قابلیت خردایش سنگ
۵۲	۵-۵-۲- وزن مخصوص
۵۲	۶-۵-۲- دانسیته‌ی حجمی یا دانسیته‌ی بالک
۵۴	۳- اصول خردایش سنگ
۵۵	۱-۳- نیروهای موثر در فرآیند خردایش
۵۸	۲-۳- حالت‌های شکست و مکانیسم شکست ذرات در این حالت‌ها
۵۸	۱-۲-۳- خردایش ذره‌ی منفرد (خردایش یا شکست تک‌ذره‌ای)

- ۳-۲-۲- خردایش بین ذره‌ای (شکست مجموعه‌ی ذرات) ..... ۷۴
- ۳-۲-۲-۱- تاثیر شکل ذره بر خردایش بین ذره‌ای ..... ۸۱
- ۳-۲-۳- تلفیق و مقایسه‌ی نتایج خردایش تک‌ذره‌ای و بین ذره‌ای ..... ۸۳
- ۴- خردایش مصالح متخلخل ..... ۸۵
- ۴-۱- مواد متخلخل و رفتار مکانیکی آنها ..... ۸۵
- ۴-۲- خردایش مواد متخلخل ..... ۸۶
- ۴-۲-۱- مدل خردایش مواد متخلخل ..... ۸۶
- ۴-۲-۲- آزمایشات انجام شده جهت بررسی خردایش سنگ‌های متخلخل ..... ۹۰
- ۵- خردایش مصالح مرکب ..... ۹۲
- ۶- تئوری‌های خردایش ..... ۹۳
- ۶-۱- انواع تئوری‌های خردایش ..... ۹۳
- ۶-۲- انرژی ویژه‌ی ورودی و ارتباط آن با کاهش ابعادی ..... ۹۷
- ۶-۳- مقایسه‌ی تئوری‌های خردایش ..... ۹۹
- ۶-۴- نیازمندی‌های انرژی برای خردایش ..... ۱۰۱
- فصل ۲: سنگ‌شکن‌ها و کاربرد آنها در عملیات عمرانی ..... ۱۰۳
- مقدمه ..... ۱۰۴
- ۱- نسبت خردایش یا نسبت کاهش ابعادی ..... ۱۰۷
- ۲- مدار خردایش و انواع آن ..... ۱۰۸
- ۳- بار در گردش ..... ۱۱۰
- ۴- مهم‌ترین پارامترهای سنگ‌شکن‌های مورد استفاده در تولید سنگدانه ..... ۱۱۱
- ۵- تقسیم‌بندی سنگ‌شکن‌های مورد استفاده برای تولید سنگدانه ..... ۱۱۳
- ۵-۱- تقسیم‌بندی سنگ‌شکن‌ها بر اساس مکانیسم شکست ..... ۱۱۳
- ۵-۲- تقسیم‌بندی سنگ‌شکن‌ها بر اساس مراحل خردایش ..... ۱۱۵

۱۱۷ ..... ۵-۲-۱- سنگ شکن های مرحله ی اول خردایش یا سنگ شکن های اولیه

۱۱۷ ..... ۵-۲-۱-۱- سنگ شکن فکی

۱۳۱ ..... ۵-۲-۱-۲- سنگ شکن ژیراتوری (ساختار، نحوه ی خردایش و عملکرد)

۱۴۱ ..... ۵-۲-۱-۳- انتخاب نوع سنگ شکن اولیه (محاسبه و مقایسه ی پارامترها)

۱۴۸ ..... ۵-۲-۲- سنگ شکن های مرحله ی دوم خردایش یا سنگ شکن های ثانویه

۱۴۹ ..... ۵-۲-۲-۱- سنگ شکن مخروطی

۱۸۱ ..... ۵-۲-۲-۲- سنگ شکن های ضربه ای

۲۱۲ ..... ۵-۲-۳- خلاصه ی مقایسه ی بین سنگ شکن های فشاری و ضربه ای

**فصل ۳ : پارامترهای موثر بر خردایش و بهینه سازی عملکرد سنگ شکن های**

مخروطی ..... ۲۱۷

مقدمه ..... ۲۱۷

۱- فرآیند کاهش ابعادی در سنگ شکن های فشاری ..... ۲۲۰

۲- زون های خردایش در سنگ شکن های مخروطی (هیدروکن) ..... ۲۲۱

۳- مدل های کاهش ابعادی در داخل سنگ شکن ها ..... ۲۲۳

۴- توابع طبقه بندی و شکست Whiten و توابع مشتق شده از آنها ..... ۲۲۵

۵- هندسه ی محافظه ی خردایش ..... ۲۳۳

۶- زون (تراز) خفگی، کارکرد خفه و تاثیر آنها بر روی حالت خردایش و ظرفیت ..... ۲۳۲

۷- ارتباط بین حالت های شکست و شکل ذرات محصول هیدروکن ..... ۲۴۰

۸- تاثیر شکل ذرات بر روی حالت خردایش ..... ۲۴۲

۹- مکانیسم های انتقال ذرات در داخل سنگ شکن مخروطی ..... ۲۴۳

۱۰- تاثیر حالت های سرعت بر روی مکانیسم انتقال ذرات در سنگ شکن فشاری (مخروطی) ..... ۲۴۶

۱-۱۰- نتیجه گیری در مورد حالت های سرعت ..... ۲۴۸

۱۱- پارامترهای موثر بر کارکرد سنگ شکن های فشاری (مخروطی) ..... ۲۴۹

۱-۱۱- پارامترهای قابل کنترل ..... ۲۵۴



- ۲۵۴-۱-۱-۱۱- پارامتر CSS یا دهانه‌ی خروجی در حالت بسته .....
- ۲۵۵-۱-۱-۱-۱۱- تاثیر CSS بر روی دانه‌بندی محصول سنگ‌شکن .....
- ۲۵۸-۲-۱-۱-۱۱- تاثیر CSS بر روی ظرفیت سنگ‌شکن .....
- ۲۵۹-۳-۱-۱-۱۱- تاثیر CSS بر روی توان خردایش .....
- ۲۶۰-۴-۱-۱-۱۱- تاثیر CSS بر روی شکل ذرات .....
- ۲۶۱-۲-۱-۱۱- سرعت خروج از مرکز (ES) .....
- ۲۶۳-۱-۲-۱-۱۱- تاثیر ES بر روی دانه‌بندی محصول .....
- ۲۶۹-۲-۲-۱-۱۱- تاثیر ES بر روی شکل ذرات .....
- ۲۷۰-۳-۲-۱-۱۱- تاثیر ES بر روی ظرفیت .....
- ۲۷۲-۴-۳-۱-۱۱- تاثیر ES بر روی توان سنگ‌شکن .....
- ۲۷۳-۵-۳-۱-۱۱- مقایسه‌ی تاثیر ES بر روی دانه‌بندی و ظرفیت سنگ‌شکن‌های مخروطی و ژیراتوری ..
- ۲۷۴-۲-۱۱- پارامترهای ثابت قابل تنظیم .....
- ۲۷۴-۱-۲-۱۱- طول پرتاب اسمی (nSTR) یا طول پرتاب خارج از مرکز .....
- ۲۷۷-۲-۲-۱۱- هندسه‌ی محفظه‌ی خردایش سنگ‌شکن .....
- ۲۷۸-۳-۱۱- پارامترهای متغیر خوراک (Disturbances) .....
- ۲۷۸-۱-۳-۱۱- رطوبت .....
- ۲۸۱-۱-۱-۳-۱۱- تاثیر رطوبت بر روی اصطکاک بین مصالح سنگ و لاینرهای خردکننده .....
- ۲۸۲-۲-۱-۳-۱۱- تاثیر رطوبت بر روی عملیات سنگ‌شکن .....
- ۲۸۲-۳-۱-۳-۱۱- نحوه‌ی جبران پارامترهای متغیر خوراک یا اصطلاحاً پارامترهای Dis .....
- ۲۸۳-۲-۳-۱۱- تاثیر بر روی ظرفیت سنگ‌شکن و نیاز به توان مصرفی .....
- ۲۸۸-۳-۳-۱۱- دانه‌بندی خوراک .....
- ۲۹۰-۱-۳-۳-۱۱- تاثیر بر روی شکل، ظرفیت و توان لازم .....
- ۲۹۱-۲-۳-۳-۱۱- احتمال کاهش تاثیر دانه‌بندی خوراک بر روی عملکرد سنگ‌شکن .....
- ۲۹۱-۴-۳-۱۱- نرخ خوراک‌دهی .....
- ۲۹۳-۱-۴-۳-۱۱- تاثیر تراز یا مقدار مصالح خوراک .....
- ۲۹۳-۵-۳-۱۱- وزن مخصوص .....
- ۲۹۳-۱-۵-۳-۱۱- مقدار یا اندازه‌ی تغییرات واقعی وزن مخصوص .....

۲۹۴	۱۱-۳-۶- شکل مصالح خوراک.....
۲۹۴	۱۱-۳-۷- شرایط و نحوه‌ی خوراک‌دهی.....
۲۹۵	۱۲- نقش اتوماسیون در کنترل آنلاین فرآیند خردایش ثابت و سیار.....
۳۰۹	فصل ۴ : مدل‌سازی و بهینه‌سازی خردایش در سنگ‌شکن‌های مخروطی.....
۳۰۹	مقدمه.....
۳۱۴	۱- مدل‌های فیزیکی.....
۳۴۹	۱-۱- مدل‌های دینامیکی.....
۴۴۱	طرح I: ضخامت بستر و پرتاب ثابت.....
۴۴۱	طرح II: پرتاب ثابت.....
۴۴۱	طرح III: ضخامت ثابت بستر.....
۴۴۲	طرح IV: ضخامت بستر و پرتاب متغیر.....
۴۵۹	۲- مدل‌های عددی.....
۴۵۹	۱-۲- مدل‌های مبتنی بر شبیه‌سازی DEM (Discrete Element Method).....
۴۶۶	۱-۱-۲- ارائه‌ی شکل برای یک ذره در مدل‌سازی DEM.....
۴۶۸	۲-۱-۲- مدل‌های شکست.....
۴۶۸	۱-۲-۱-۲- مدل (Bonded Particle Method) BPM.....
۴۷۲	۲-۲-۱-۲- مدل (Polyhedral Element Model) PEM.....
۴۷۳	۳-۲-۱-۲- مدل جایگزینی بالانس جمعیتی (PBRM یا Population Balance Replacement).....
۴۸۰	۳-۱-۲- کالیبراسیون مدل‌های شبیه‌سازی DEM و اندازه‌گیری داده‌های شکست.....
۴۸۳	۴-۱-۲- شکست دینامیکی در یک مدل DEM.....
	۵-۱-۲- تحقیقات انجام شده بر روش DEM جهت مدل‌سازی سنگ‌شکن‌های مخروطی و بررسی نتایج آنها.....
۴۸۴	
	فصل ۵ : مدل‌سازی سایش در سنگ‌شکن‌های مخروطی و راهکارهای کاهش سایش.....
۵۶۵	

۵۶۵.....	مقدمه
۵۷۲.....	۱- مکانیسم‌ها و رژیم‌های سایش لاینرها
۵۷۳.....	۲- شرح مدل‌ها و مطالعات سایش در سنگ‌شکن‌های مخروطی
۶۵۴.....	۳- متالورژی لاینرها و نقش آنها در پدیده‌ی سایش
۶۶۹.....	فصل ۶: مدل‌های خردایش و بهینه‌سازی و پایش پارامترهای سنگ‌شکن‌های فکی
۶۶۹.....	مقدمه
۶۷۰.....	۱- مدل‌های خردایش و بهینه‌سازی سنگ‌شکن‌های فکی
۷۲۷.....	فصل ۷: مدل‌های سایش سنگ‌شکن‌های فکی
۷۲۷.....	مقدمه
۷۲۸.....	۱- شرح مدل‌های سایش سنگ‌شکن‌های فکی
۷۴۷.....	فصل ۸: بهینه‌سازی و مدل‌سازی خردایش ضربه‌ای
۷۴۷.....	مقدمه
۷۵۰.....	۱- مدل‌های خردایش و بهینه‌سازی در سنگ‌شکن‌های ضربه‌ای
۸۰۵.....	۲- بهینه‌سازی و مدل‌سازی خردایش ضربه‌ای مصالح مرکب
۸۲۱.....	فصل ۹: شکل سنگدانه‌ها (راهکارهای اصلاح، مدل‌های پیش‌بینی و خصوصیات شکل)
۸۲۱.....	مقدمه
۸۲۳.....	۱- تاثیرپذیری متقابل شکل سنگدانه‌ها و پارامترهای خردایش
۸۳۰.....	۲- کاهش درصد پولکی-سوزنی و تیزگوشگی و راهکارهای اصلاح شکل سنگدانه‌ها
۸۳۱.....	۱-۲- روش‌های تعیین درصد پولکی-سوزنی سنگدانه‌های درشت
۸۳۳.....	۲-۲- تاثیر مکانیسم با الگوی بارگذاری بر روی تولید ذرات پولکی و شکل سنگدانه‌ها
۸۳۶.....	۲-۳- تاثیر ابعاد خوراک بر روی درصد پولکی-سوزنی محصول سنگ‌شکن

۸۳۸	۴-۲- تاثیر نوع خوراک بر روی شاخص پولکی سنگ‌شکن مخروطی
۸۳۹	۵-۲- تاثیر CSS و اندازه‌ی خوراک بر روی اندیس پولکی محصول سنگ‌شکن مخروطی
۸۴۲	۶-۲- تاثیر نسبت تراکم، طول پرتاب و CSS بر روی شکل ذرات محصول سنگ‌شکن مخروطی
۸۵۱	۷-۲- شرایط لازم برای بهبود شکل ذرات و بازده در سنگ‌شکن‌های مخروطی
۸۵۳	۸-۲- نحوه‌ی انتخاب CSS بهینه برای نیل به شکل و بازده بهینه‌ی محصول
۸۵۷	۹-۲- تاثیر سنگ‌شکن‌ها بر روی شکل سنگدانه‌های ریز
۸۷۰	۱۰-۲- تاثیر شکل ذرات بر روی فرآیند خردایش
۸۸۲	۱۱-۲- اندازه‌گیری و مقایسه‌ی خصوصیات ماسه‌ی تولیدی سنگ‌شکن‌های CC و VSI
۸۹۵	۳- مطالعات بهینه‌سازی مدار خردایش جهت کنترل شکل سنگدانه‌ها
۹۱۱	فصل ۱۰. مدل‌سازی سنگ‌شکن‌های مخروطی برای بهینه‌سازی شکل ذرات
۹۱۱	مقدمه
۹۱۲	۱- مدل‌های بهینه‌سازی سنگ‌شکن‌های مخروطی برای بهینه‌سازی شکل ذرات
۹۳۹	فصل ۱۱: سرندها و عملیات سرندکردن
۹۳۹	مقدمه
۹۴۰	۱- انواع سرندها و نحوه‌ی نصب آنها
۹۴۰	۱-۱- سرندهای ساکن
۹۴۱	۱-۱-۱- سرند گریزلی (Grizzly)
۹۴۱	۱-۱-۲- سرند ژیراتوری (Gyratory Screen)
۹۴۲	۱-۱-۳- سرند ارتعاشی (Vibrating Screen) یا لرزان
۹۴۵	۱-۱-۳- الف- ویژگی‌های عملیات سرندکنی برای سرندهای ارتعاشی رایج
۹۴۶	۲- مکانیزم سرندکردن، لایه‌بندی و عبور ذرات
۹۵۵	۳- بازدهی سرندکردن (پارامترهای موثر بر آن و راهکارهای افزایش)

- ۳-۱- ارانه‌ی مدل بهینه‌ی ارتعاش سرنند برای افزایش بازدهی..... ۹۶۴
- ۴- مدل‌های سینتیک سرنندکردن ..... ۹۷۰
- ۴-۱- روش تصادفی ..... ۹۷۰
- ۴-۲- روش سینتیک ..... ۹۷۱
- ۴-۱-۲- شرح مدل‌های مهم سرنندکردن بروش سینتیک ..... ۹۸۲
- ۴-۱-۲-۱- مدل Ferrara-Precti ..... ۹۸۲
- ۴-۱-۲-۲- مدل اول Soldinger (ارتباط لایه‌بندی و عبور در فرآیند سرنندکردن) ..... ۹۹۴
- ۴-۱-۲-۳- مدل دوم Soldinger (تاثیر اندازه‌ی ذره و ضخامت بستر بر روی فرآیند سرنندکردن) ... ۱۰۱۱
- ۴-۱-۲-۴- مدل سوم Soldinger (سرعت انتقال مصالح شکسته بر روی سطح سرنند) ..... ۱۰۲۴
- ۴-۱-۲-۵- مدل Milan Trumic و Nedeljko Magdalinovic ..... ۱۰۳۴

## فصل ۱۲ : تجهیزات جابجایی، خوراک‌دهی و ذخیره‌سازی سنگدانه‌ها در خطوط

خرردایش ..... ۱۰۴۵

مقدمه ..... ۱۰۴۵

۱- نوارهای نقاله ..... ۱۰۴۶

۱-۱- عیب‌یابی نوارهای نقاله و مشکلات کارکرد آنها ..... ۱۰۴۹

۱-۱-۱- نوار نقاله ممکن است در یک قسمت خاص از نوار، به یک طرف کشیده شود..... ۱۰۴۹

۱-۱-۲- یک قسمت از نوار نقاله در تمام طول دستگاه به یک سمت کشیده می‌شود..... ۱۰۵۰

۱-۱-۳- نوار در تمام طول دستگاه نقاله به یک سمت کشیده می‌شود..... ۱۰۵۰

۱-۱-۴- رویه‌ی نوار بطور غیرعادی فرسوده‌شده یا دارای بریدگی و جداشدگی است..... ۱۰۵۰

۱-۱-۵- لایه‌ی زیرین نوار بطور غیرعادی سائیده‌شده است..... ۱۰۵۱

۱-۱-۶- کناره‌های نوار صدمه‌دیدمانند ..... ۱۰۵۱

۱-۱-۷- منجید نوار صدمه‌دیده است..... ۱۰۵۲

۱-۱-۸- رویه‌ی نوار دچار بریدگی شده است..... ۱۰۵۲

۱-۱-۹- نوار پاره‌شده است..... ۱۰۵۲

- ۱-۱-۱- رویه‌ی نوار متورم‌شده یا به سمت داخل انحناء پیدا کرده است. ۱۰۵۲
- ۱-۱-۱- سطح رویه‌ی نوار سوختگی دارد. ۱۰۵۳
- ۱-۱-۱- در سرتاسر روی سطح نوار، ترک‌های ریز بچشم می‌خورد و رویه‌ی نوار نرمی خود را از دست‌داده است. ۱۰۵۳
- ۱-۱-۱- ترک‌های زیرسطحی روی سطح رویه‌ی نوار بچشم می‌خورد. ۱۰۵۳
- ۲- قیف‌های ذخیره‌سازی و فیدرها ۱۰۵۵
- ۱-۲- فیدرهای شاتونی ۱۰۵۷
- ۲-۲- فیدرهای ارتعاشی ۱۰۵۹
- ۳-۲- فیدرهای گریزلی ۱۰۶۲
- ۴-۲- فیدرهای زنجیری ۱۰۶۳
- ۵-۲- فیدرهای تسمه‌ای ۱۰۶۵
- ۶-۲- فیدرهای غلتکی ۱۰۶۸
- ۳- انتخاب فیدر ۱۰۶۹
- ۱-۳- فرآیند انتخاب یک فیدر ۱۰۶۹
- ۲-۳- نکات کلی در خصوص سرعت انتقال مواد و ظرفیت فیدرها (ارتعاشی، گریزلی، زنجیری) ۱۰۷۲
- ۴- شوت‌های انتقال مواد ۱۰۷۷
- فصل ۱۳ : کلاسیفایرها و کنترل کیفیت شستشو و حمل سنگدانه‌ها. ۱۰۸۱
- ۱- کلاسیفایرها. ۱۰۸۱
- ۲- روش‌های شستشوی مصالح با استفاده از کلاسیفایرهای آبی. ۱۰۸۳
- ۲- تیکنرها ۱۱۳۳
- ۱-۲- تئوری غلیظ‌کردن ۱۱۳۵
- ۲-۲- دسته‌بندی تیکنرها ۱۱۳۷

- ۱۱۳۹ ..... ۳-۲- طراحی تیکنرهای سنتی
- ۱۱۴۱ ..... ۱-۳-۲- تعیین سطح تیکنر
- ۱۱۴۷ ..... ۲-۳-۲- تعیین عمق تیکنر
- ۱۱۴۸ ..... ۳- کنترل کیفیت در شستشو و دانه‌بندی ماسه
- ۱۱۵۲ ..... ۱-۳- تشخیص کیفیت ماسه از طریق زاویه‌ی قرارگیری دیوهای زیر نوار نقاله
- ۱۱۶۰ ..... ۲-۳- تشخیص کیفیت ماسه از طریق زاویه‌ی قرارگیری دیوهای ذخیره (دیوهای زهکشی) ...
- ۱۱۶۲ ..... ۴- کنترل و تضمین کیفیت محصول شن و ماسه پس از تولید تا زمان مصرف در کارگاه ...
- ۱۱۶۳ ..... ۱-۴- جدایش سنگدانه‌ها
- ۱۱۶۶ ..... ۲-۴- ایجاد دیوهای شعاعی
- ۱۱۶۶ ..... ۳-۴- نحوه‌ی ایجاد دیو توسط کامیون‌ها
- ۱۱۶۷ ..... ۱-۳-۴- توده‌کردن یا کپه‌کردن لایه‌ای مصالح
- ۱۱۶۸ ..... ۴-۴- جلوگیری از متلاشی‌شدن یا خردشدن سنگدانه‌ها (Degredation)
- ۱۱۶۹ ..... ۵-۶- جلوگیری از آلوده‌شدن دیوها
- ۱۱۶۹ ..... ۶-۶- نحوه‌ی برداشت مصالح از دیوها (Retrieval)
- ۱۱۷۱ ..... فصل ۱۴ : کنترل کیفیت خردایش برای تولید سنگدانه
- ۱۱۷۱ ..... مقدمه
- ۱۱۷۲ ..... ۱- اهم مشکلات مربوط به خطوط خردایش و کیفیت سنگدانه‌ها
- ۱۱۸۰ ..... ۲- نحوه‌ی کنترل کیفیت عملیات خردایش جهت تولید سنگدانه‌های باکیفیت
- ۱۲۰۳ ..... فصل ۱۵ : تاثیر کیفیت سنگدانه‌ها بر روی خواص بتن
- ۱۲۰۳ ..... مقدمه
- ۱۲۰۸ ..... ۱- مهم‌ترین خواص بتن تازه
- ۱۲۰۹ ..... ۲- دانه‌بندی و مدول نرمی

- ۳- تاثیر شکل و دانه‌بندی سنگدانه‌ها بر روی خواص بتن تازه و سخت‌شده ..... ۱۳۲۱
- ۱-۳- تاثیر بر روی کارایی و مقاومت بتن ..... ۱۳۲۱
- ۲-۳- تاثیر بر روی مقدار هوای بتن ..... ۱۳۴۳
- ۱-۲-۳- تاثیر سنگدانه‌های درشت بر روی مقدار هوای بتن ..... ۱۳۴۳
- ۲-۲-۳- تاثیر سنگدانه‌های ریز بر روی مقدار هوای بتن ..... ۱۳۴۴
- ۴- بحث در مورد درصد مجاز عبوری الک  $200 \approx$  (ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون) ..... ۱۳۴۷
- ۵- نکات و ملاحظات اجرایی کنترل کیفیت بتن ..... ۱۳۵۷
- ۱-۵- تولید قطعات بتنی پیش‌ساخته (سگمنت) ..... ۱۳۶۶
- فصل ۱۶ : تاثیر کیفیت سنگدانه‌ها بر روی آسفالت ..... ۱۳۷۹
- مقدمه ..... ۱۳۷۹
- ۱- دانه‌بندی سنگدانه‌ها و دانه‌بندی مطلوب ..... ۱۳۸۰
- ۱-۱- دانه‌بندی مطلوب ..... ۱۳۸۱
- ۱-۱-۱- منحنی حداکثر دانسیته به توان ۰/۴۵ ..... ۱۳۸۲
- ۲- تاثیر سنگدانه‌ها بر روی خواص مخلوط آسفالت (تراکم) ..... ۱۳۸۳
- ۳- انواع تغییرشکل‌ها و آسیب‌های راه‌های آسفالته و نقش سنگدانه‌ها در ایجاد آن ..... ۱۳۸۷
- ۱-۳- جدایش سنگدانه‌ها ..... ۱۳۸۷
- ۲-۳- عریان شدن ..... ۱۳۸۹
- ۱-۲-۳- علل ایجاد پدیده‌ی عریان‌شدگی آسفالت یا سنگدانه‌ها ..... ۱۳۹۱
- ۳-۳- کنده‌شدن یا Raveling ..... ۱۳۹۲
- ۱-۳-۳- علل کنده‌شدن ..... ۱۳۹۲
- ۴-۳- قیرزدگی ..... ۱۳۹۴
- ۱-۴-۳- علل قیرزدگی ..... ۱۳۹۵
- ۳-۵- سوختن آسفالت ..... ۱۳۹۶



- ۱۲۹۷..... ۳-۵-۱- علل سوختن آسفالت.
- ۱۲۹۹..... ۳-۶- موجدارشدن آسفالت.
- ۱۳۰۱..... ۳-۷- تورم آسفالت.
- ۱۳۰۱..... ۳-۸- تفاضل یا دیفرانسیل حرارتی.
- ۱۳۰۲..... ۳-۹- شیارشدگی (Rutting).
- ۱۳۰۵..... ۳-۱۰- چاله‌ها (Patches).
- ۱۳۰۵..... ۳-۱۱- نشست راه‌های آسفالته.
- ۱۳۰۶..... ۴- مشخصات سنگدانه‌ها و کیفیت آنها در آسفالت.
- ۱۳۰۷..... ۴-۱- سختی.
- ۱۳۰۷..... ۴-۲- دوام.
- ۱۳۰۷..... ۴-۳- تمیزی.
- ۱۳۰۷..... ۴-۴- خصوصیات سطح و شکل دانه‌ها.
- ۱۳۰۸..... ۵- ویژگی‌های مطلوب مخلوط‌های آسفالتی.
- ۱۳۰۸..... ۵-۱- استحکام (مقاومت).
- ۱۳۱۰..... ۵-۲- دوام روسازی.
- ۱۳۱۱..... ۵-۳- ناتراوایی.
- ۱۳۱۲..... ۵-۴- کارپذیری.
- ۱۳۱۳..... ۵-۵- انعطاف‌پذیری.
- ۱۳۱۳..... ۵-۶- مقاومت در برابر خستگی.
- ۱۳۱۴..... ۵-۷- مقاومت سرشی.
- ۱۳۱۵..... ۶- نقش شرایط جوی در عملکرد روسازی آسفالتی و انتخاب مخلوط آسفالتی مناسب.
- ۱۳۱۷..... فهرست وازگان فنی.
- ۱۳۳۵..... منابع.