دانشگاه شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی

سمینار کارشناسی ارشد استخراج معدن

شبیه سازی کامپیوتری و کاربردهای آن در معدن

استاد راهنما: دکتر حمید میرعابدینی

تهیه و تنظیم: اباسد صفری

زمستان ۱۳۷۹

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به خاک پاک میهنم ایران

به پاس زحمات

- زنده یاد پدرم
- عموی فداکارم
- مادر مهربانم
- برادرانم و خواهرانم

سپاس و قدردانی

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

بدینوسیله از استاد گرانقدر آقای دکتر حمید میرعابدینی که با راهنمایی‌های دلسوزانه در طول مدت انجام سمینار یاریم نموده اند کمال تشکر و قدردانی بعمل می‌آید.
همچنین از دوستان عزیزم: مهندس علی فاتحی که در امر تنظیم،تدوین و ویراستاری و خانم قاسمی ، آقای حسینی وآقای کبیریان و کلیه اساتید و دوستانی که در تهیه این سمینار مرا یاری نمودند صمیمانه تشکر و سپا سگزاری می‌نمایم. و از خداوند بزرگ آرزوی عمری پر بار برای این عزیزان دارم.

اباسد صفری
زمستان ۱۳۷۹

عنوان ..... صفحه

فصل

اول:مقدمه ۱

فصل دوم: مفاهیم و تعاریف ۵

۲-۱-سیستم ۶

۲-۱-۱-سیستم های گسسته و پیوسته ۷

۲-۲-مدل ۸

۲-۲-۱-انواع مدل ۹

۲-۲-۲-نمونه گیری مونت کارلو ۱۰

۲-۳-دامنه کاربردشبیه سازی ۱۲

۲-۴-روشهای شبیه سازی ۱۳

فصل سوم:شبیه سازی کامپیوتری ۱۶

۳-۱-مدلسازی ۱۶

۳-۲-گذر زمان در مدلهای شبیه سازی ۱۷

۳-۲-۱-روشهای زمانداری ۱۷

۳-۲-۲-شرایط بکارگیری روشهای زمانداری ۱۸

۳-۳-رویکردهای متداول جهت ایجاد مدلهای شبیه سازی ۱۸

۳-۳-۱-شبیه سازی با رویکرد تشریح وقایع ۲۰

۳-۳-۲-شبیه سازی با رویکرد جستجوی فعالیتها ۲۲

۳-۳-۳-شبیه‌سازی با رویکرد تشریح فرایندها ۲۲

۳-۳-۴-انتخاب رویکرد مناسب جهت ایجاد مدل شبیه سازی ۲۴

۳-۴-مراحل شبیه سازی کامپیوتری ۲۴

۳-۵-مزایای بکارگیری شبیه سازی کامپیوتری ۲۶

فصل چهارم:زبانهای برنامه نویسی و نرم افزارهای شبیه سازی ۲۸

۴-۱-تقسیم بندی زبانهای شبیه سازی کامپیوتری ۲۸

۴-۱-۱-زبانهای همه منظوره ۲۸

۴-۱-۲-زبانهای تک منظوره ۲۹

٤-١-٢-١-زبان شبیه سازی GPSS ٣١
٤-١-٢-٢-زبان شبیه سازی SLAM..... ٣٤
٤-١-٢-٣-زبان شبیه سازی GASP ٣٤
٤-١-٢-٤-زبان شبیه سازی SIMSCRIPT ٣٥
٤-١-٣-خلاصه و مقایسه زبانهای شبیه سازی ٣٥
٤-٢-نرم افزارهای انیمیشن ساز..... ٣٥
٤-٢-١-نرم افزار ARENA ٣٦
٤-٢-٢-نرم افزار AUTOMOD ٣٧
٤-٢-٣-نرم افزار PROOF ٣٧
٤-٢-٤-نرم افزار SLAM SYSTEM ٣٧

فصل پنجم:کاربردهای شبیه سازی کامپیوتری در معدن..... ٣٩

٥-١- بکارگیری شبیه سازی کامپیوتری در سیستم حمل و نقل..... ٤٠

٥-١-١- تعیین حجم بهینه ناوگان بارگیری و حمل در معادن روباز..... ٤٠
٥-١-١-١- مطالعه موردی کاربرد شبیه‌سازی کامپیوتری در معدن آهن داک..... ٤٣
٥-١-١-٢- شبیه سازی سیستم حمل و نقل آهک درکارخانجات سیمان صوفیان..... ٤٦

٥-١-٢- کاربرد شبیه سازی کامپیوتری برای ارزیابی سیستم دیسپچینگ در معادن..... ٤٩

٥-١-٢-١- مطالعه موردی مقایسه عملیات تراک و شاول با استفاده از سیستم دیسپچینگ
و بدون آن..... ٤٩
٥-١-٢-١-١- مدلسازی عملیات حمل و نقل بدون استفاده از سیستم دیسپچینگ..... ٥١
٥-١-٢-١-٢-مدلسازی عملیات حمل و نقل با بکارگیری سیستم دیسپچینگ..... ٥٤

٥-١-٣-شبیه سازی سیستم بارگیری و حمل در معادن زیر زمینی..... ٥٨

٥-١-٤- شبیه سازی شبکه های نوار نقاله..... ٥٨

٥-١-٤-١- مطالعه موردی شبیه سازی شبکه نوار نقاله در معدن زیر زمینی ذغالسنگ..... ٦٠

٥-٢- بکارگیری شبیه سازی کامپیوتری در فرایند فرآوری در معدن..... ٦٣

٥-٢-١ اجزا مدل در فرایند فراوری..... ٦٣
٥-٢-٢- منطق برنامه شبیه‌سازی فرایند فرآوری..... ٦٤

٥-٣- برخی از نمونه های دیگر کاربرد شبیه سازی کامپیوتری درمعدن..... ٦٦

نتایج..... ٦٨

منابع..... ٦٩

عنوان..... .....صفحه

فهرست جداول

جدول ٤-١- مقایسه زبانهای مرسوم شبیه سازی کامپیوتری.....٣٦

جدول ٥-١ مقایسه دو روش دستی و کامپیوتری برای توزیع کامیونها در معدن صوفیان.....٤٨

جدول ٥-٢- نتایج اجرای شبیه سازی برا ی شاول.....٥٢

جدول ٥-٣ -نتایج شبیه سازی برای ترکیب های گوناگون شاولها ٥٥

جدول ٥-٤- یک مثال برای تاخیرهای تراک در صف تراک ٥٦

جدول ٥-٥-مقایسه تاثیر ظرفیت بونکرها و تعداد ترنهادرمقدار تولیدشبکه نوار نقاله.....٦٢

عنوان..... .....صفحه

فهرست شکلها

شکل ۲-۱- نمودار تغییرات وابسته به زمان در یک سیستم گسسته.....۸

شکل ۲-۲- نمودار تغییرات وابسته به زمان در یک سیستم پیوسته.....۸

شکل ۲-۳- روش نمونه گیری مونت کارلو.....۱۱

شکل ۳-۱: ارتباط بین وقایع. فعالیتها و فرآیندها.....۱۹

شکل ۳-۲- فلوچارت برنامه کنترل شبیه سازی با رویکرد تشریح وقایع.....۲۱

شکل ۳-۳- فلوچارت سیستم - روش پردازش فرآیندها، فرم کلی ۲۳

شکل ۵-۱- نمای ساده عملیاتهای مختلف در معادن روباز.....٤۱

شکل ۵-۲ نمایی ساده از معدن آهن داک ٤٤

شکل ۵-۳- نمایی ساده از سینه کارها وسنگ شکنها در معدن آهک صوفیان.....٤٤

شکل ۵-٤ مدل ساده سیستم تراک و شاول.....۵۰

شکل ۵-۵- طرح سیستم حمل و نقل.....۵۰

شکل ۵-٦- تولید کلی vs حجم ناوگان تراک برای شاول ۲ تا ۵ .....۵۳

شکل ۵-۷ - نمای ساده زمان رسیدن تراکها، زمان انتظار و بارگیری توسط شاول.....۵۵

شکل ۵-۸ -مقایسه تولید معدن در روشهای با استفاده از دیسپچینگ و بدون استفاده.....۵۷

شکل ۵-۹-سیستم حمل و نقل معدن ذغالسنگ در منطقه پنسیلوانیا.....٦۱

شکل ۱۰-۵- فلوشیت کارخانه کانه آرایی شبیه سازی شده.....٦۵

شبیه سازی کامپیوتری وکاربردهای آن در معدن

چکیده

توسط:

اباسد صفری

در این سمینار ابتدا مفاهیم موردنیاز را برای آشنایی باسیستم و روشهای مدلسازی بیان می نماییم. شبیه سازی کامپیوتری یکی از ابزارهایی است که برای تجزیه و تحلیل و بهینه سازی سیستمها بسیار موثر است. بنابراین در فصل سوم به این موضوع پرداخته ایم. از آنجاییکه زبانهای شبیه سازی کامپیوتری یکی از نیازهای اساسی برای شبیه سازی کامپیوتری سیستم می باشند، در فصل چهارم به شرح زبانهای شبیه سازی پرداخته ایم. در فصل پنجم کاربردهای این روش برای شبیه سازی عملیاتهای معدنی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است .

کلمات کلیدی: سیستم، مدل، شبیه سازی کامپیوتری، زبانهای شبیه سازی کامپیوتری وکاربرهای شبیه سازی درعملیاتهای معدنی.

فصل اوّل

مقدّمه

امروزه مطالعه و بررسی علمی‌سیستمها به منظور شناخت و بهبود آنها امری لازم در روند سریع پیشرفتهای صنعتی، اقتصادی و خدماتی است. روشهای متعدد و متنوعی برای تجزیه، تحلیل و برنامه‌ریزی علمی‌سیستمها وجود دارد. روشهای تحلیلی ریاضی و روشهای شبیه‌سازی مانند بررسی آزمایشگاهی، مشاهده عینی و تجربی، شبیه‌سازی فیزیکی یا واقعی و شبیه‌سازی کامپیوتری را می‌توان به‌عنوان نمونه ای از این روشها نام برد. بکارگیری هر یک از این روشها بستگی مستقیم به نوع سیستم دارد. هر یک از روشهای مذکور خواص و محدودیت‌ها ي منحصر به خود را دارد و بکارگیری همه آنها در مورد یک سیستم خاص بسادگی امکان پذیر نمی‌باشند . و در صورت امکان به یک نتیجه مشابه و مطلوب نخواهند رسید[۱].

در مدلهای ریاضی سیستم بصورت توابع و نماهای ریاضی تعریف می‌شود. از اینرو ساخت مدل ریاضی برای سیستمهای، پیچیده دشوار و حل آن در مواردی غیر ممکن می‌باشد. در حالیکه در مدل شبیه‌سازی برای بیان روابط حاکم بین متغیرهای سیستم احتیاجی به توابع ریاضی پیچیده نمی‌باشد. از اینرو براحتی می‌توان سیستمهای پیچیده را به وسیله آن مدل‌سازی کرد. روشهای تحلیلی ریاضی هر جا که ممکن باشد، مطلوب ترین و دقیق ترین روشها برای مطالعه سیستمها می‌باشند؛ زیرا این روشها معمولا جوابها یا نتایجی را تولید می‌کنند که برای مقادیر مختلف پارامترهای مدل قابل محاسبه بوده و میزان دقت آنها صد در صد می‌باشد. اما جاییکه بکارگیری روشهای تحلیلی، بعلت پیچیدگی مدلها یا

نیاز به تولید واقعی‌تر رفتار سیستم، غیرممکن باشد، روشهای مطالعه سیستم از طریق شبیه‌سازی مطرح می‌گردند [۱].

مدلهای شبیه‌سازی رفتار سیستم را برای یک دوره زمانی مشخص تقلید می‌کنند. این عمل با جمع آوری دقیق زمانهای وقوع پیشامدها و نتایج آن و تاثیر آن در مدل انجام می‌پذیرد . برای اینکه مدل شبیه‌سازی شده بتواند در حد مورد قبولی رفتار سیستم را تکرار کند نیاز به جمع آوری دقیق و کافی اطلاعات از سیستم میباشد.اگر اطلاعات مورد نیاز به اندازه کافی موجود نباشند نتایج شبیه‌سازی اعتبارچندانی نخواهد داشت و نمی‌تواند برای تحلیل سیستمها بکارگرفته شوند.

روشهای شبیه‌سازی مانند بررسی آزمایشگاهی، مشاهده عینی و تجربی و شبیه‌سازی فیزیکی در مقایسه با شبیه‌سازی کامپیوتری مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار می‌باشند. در خور توجه است که روشهای شبیه‌سازی مذکور در مقایسه با شبیه‌سازی کامپیوتری قابلیت بسیار کمی‌در کنترل متغیرهای سیستم دارند.

شبیه‌سازی کامپیوتری با توجه به پیشرفت کامپیوتر در سه دهه اخیر و در دسترس بودن زبانهای ویژه شبیه‌سازی کامپیوتری، توانایی محاسبات پیچیده، با کاهش هزینه و زمان محاسبه،و پیشرفتهای مربوط به روشهای شبیه‌سازی همگی این روش را بصورت یکی از روشهای رایج و ابزاری مناسب در تحقیق در عملیات و تحلیل سیستمها در آورده اند. و در واقع زمانیکه دیگر روشهای بررسی علمی سیستمها ناتوان، طولانی یا گران بوده و نیاز به آگاهی‌های علمی‌و تخصصی دارند، این روش با صرف حداقل زمان و مخارج، نیاز تحلیلگر را برآورده می‌سازد [۲]. از اینرو شبیه‌سازی کامپیوتری امروزه یکی از روشهای رایج برای تجزیه و تحلیل و بهسازی سیستمهای آموزشی، خدماتی، تولیدی، عملیاتهای معدنی، کنترل، حمل و نقل، نظامی می‌باشد[۱].

در شبیه‌سازی کامپیوتری ابتدا یک مدل کامپیوتری از سیستم ساخته می‌شود: یعنی کلیه اجزاء سیستم به صورت برنامه‌های کامپیوتری نوشته شده و مشخصات و رفتار آنها به متغیرها و توابع ریاضی تبدیل می‌گردند. اغلب متغیرها در مدلهای شبیه‌سازی، تصادفی می‌باشند و از توزیع احتمالی مشخصی

- پیش بینی مقدار تولید
- شبیه‌سازی کارخانه فرآوری
- طراحی آزمایش

با ایجاد، معتبرسازی و اجرای سریع یک مدل می‌توان عملکرد سیستم را در برابر سوالهای محتلف چه می‌شد اگر؟ (What If ?) ارزیابی نمود.

برخی از سوالهای چه می‌شد اگر؟ به قرار زیر است:

- اگر یک تراک به سیستم اضافه شود چه می‌شود؟
- تولید چقدر افزایش می‌یابد؟
- اگر یک سینه‌کار جدید برای معدنکاری باز شود چه می‌شود؟
- چه تعداد تراک جدید باید خریداری شود، و چه تعداد شاول باید خریداری شود؟ چه زمان باید یک شاول جدید خریداری گردد؟
- اختلاف تولید بین ناوگان تراک‌های بزرگ و کوچک چقدر می‌باشد؟ اختلاف تولید برای شاولهای با ظرفیت مختلف چقدر می‌باشد؟ و نیزاختلاف تولید برای سنگ شکنهای با ظرفیتهای مختلف چقدر است.

شبیه‌سازی کامپیوتری ابزاری بسیار مناسب برای تجزیه، تحلیل، پیش بینی و ارزیابی سیستمها و طرح‌ها است.از این روش می‌توان در انجام مطالعات امکان سنجی،مکان یابی، تخصیص منابع و مسیر یابی طرح‌های صنعتی ومعدنی بهره گرفت.

فصل دوّم

مفاهیم و تعاریف

یکی از جامعترین تعاریف شبیه‌سازی در سال ۱۹۷۵ بوسیله رابرت شانون[1] ارائه شده و به شرح ذیل است:

شبیه‌سازی عبارت است از فرایند طراحی و ساخت مدلی از یک سیستم واقعی و انجام آزمایشهایی با این مدل که با هدف پی بردن به رفتار سیستم یا ارزیابی استراتژی های گوناگون برای عملیات سیستم، صورت می‌گیرد [٤].

با توجه به تعریف فوق می‌توان گفت که تحلیلگر سیستم با ایجاد مدلی از یک سیستم و به اصطلاح شبیه‌سازی آن در جستجوی اهداف زیر می‌باشد:

- توصیف رفتار سیستمها
- ارائه نظریه ها و یا فرضیه هایی که علت رفتار مشاهده شده را بیان کنند.
- استفاده از این نظریه ها برای پیشگویی رفتار آینده یعنی پیشگویی اثرهایی که بوسیله تغییرات سیستم و یا تغییر روش عملکرد آن به وجود خواهند آمد.

با کمی دقت در تعریف "شبیه‌سازی"، اهمیت دو واژه سیستم و مدل کاملا محسوس می‌باشد، لذا جهت ارائه یک تئوری منطقی و عملی جهت اجرای یک پروژه شبیه‌سازی باید مفاهیم سیستم و مدل کاملا درک شود. لذا به تعریف مفاهیم فوق می‌پردازیم :

---

[1] -Robert Shanon

۲-۱-سیستم[1]

تجمع یک گروه از اجزاء دائمی و موقتی برای نیل به یک هدف یـا اهـداف مشـترک بـا در نظـر گرفتن مشخصات اجزاء و روابط بین آنها را سیستم گویند [۱].

این تعریف در بر گیرنده مفاهیم زیر است:

- **اجزاء دائمی[2]:**

به اجزایی از سیستم گفته می‌شود که در طول زمان آزمایش شبیه‌سازی در سیستم موجود باشـند. به‌عنوان نمونه می‌توان از ماشین آلات و تجهیزات در یک سیستم تولیدی نام برد [۱]

- **اجزاء موقتی[3]:**

به اجزایی از سیستم گفته می‌شود که در زمانهایی از انجام آزمایش شبیه‌سازی وارد سیستم شـده، از سیستم عبـور کـرده و زمـانی بعـد سیسـتم را تـرک کننـد. معمـولا سیسـتم هـدف خـود را بـر روی اجزاء موقتی اعمال می‌کند. به‌عنوان نمونه می‌توان از قطعات محصولات در یک سیسـتم خـط تولیـد نـام برد.

- **مشخصات اجزاء[4]:**

در منطق شبیه‌سازی هر جزء به کمک مشخصات خود از دیگر اجزاء متمـایز می‌شـود. بـه‌عنوان نمونه می‌توان نوع موجودیت، زمان ورود یک جزء به سیستم ونظایر اینها را از مشخصات اجزاء دانست. لذا بطور کلی گاه مشخصات اجزاء یک سیستم را با نام متغیرهای داخلی و مقـدار ایـن متغیرهـا در یـک لحظه معین را به عنوان وضعیت سیستم در آن لحظه تعریف می‌کنند [۱].

1-System
2-Permanent Entity
3-Temporary Entity
4-Atributes

به‌عنوان مثال، در عملیات سنگ شکنی می‌توان سنگ شکن را به‌عنوان جزء دائمی، مواد عبوری را به‌عنوان جزء غیر دایمی و از زمان ورود مواد به سنگ شکن، و مدت زمان سنگ شکنی از مشخصه‌های سیستم نام برد.

- **محیط سیستم:**

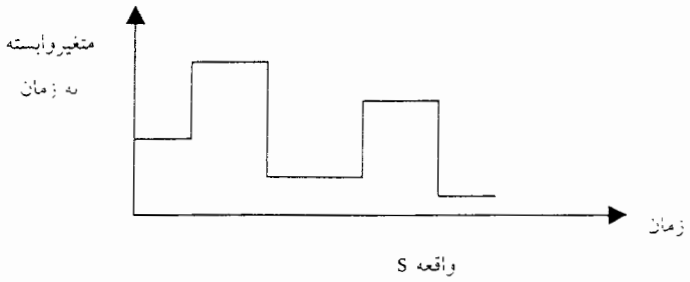
معمولا تغییرات عواملی در خارج از یک سیستم بر خود سیستم موثر واقع شده و بعضی تغییرات در سیستم دارای اثراتی بر عوامل خارجی از سیستم هستند. مجموعه این گونه عوامل خارجی را که بر سیستم موثر و یا از آن تاثیر پذیرند محیط سیستم خوانند.

برای تمایز اجزاء (عوامل)، متغیرها و فعالیتهای محیط سیستم از همنام هایشان در سیستم آنها را به ترتیب خارجی و داخلی نام گذاری می‌کنند و مرز بین این دو دسته را مرز سیستم می‌نامند.

۲-۱-۱-سیستمهای گسسته و پیوسته:

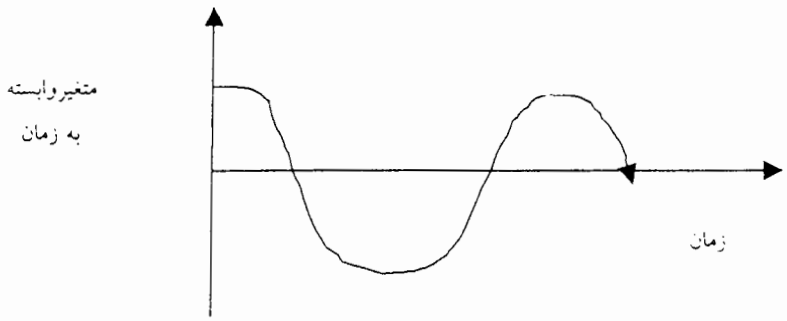
همراه با گذر زمان مقدار بعضی از مشخصه های اجزاء سیستم (متغیرها) تغییر می‌یابند. بعبارت دیگر بعضی از اجزاء با گذشت زمان تغییر وضعیت می‌دهد . این تغییرات ممکن است بصورت پیوسته (نسبت به زمان)یا بصورت ناپیوسته ودر لحظاتی متمایزی از زمان باشد [۱]. بطور کلی سیستمها به دو گروه سیستمهای گسسته و پیوسته تقسیم بندی می‌شوند.

سیستمهای‌گسسته: تغییر وضعیت در سیستمهای گسسته عمدتا ناپیوسته است. در شکل۲-۱ نمودار تغییرات وابسته به زمان در یک سیستم گسسته مشاهده می‌شود. .برای مثال، در سیستم تراک و شاول، شاول در زمانهای منفصل تراک را بارگیری می‌کند و تراک در زمانهای منفصل بار خود را خالی می‌کند.



شکل ۲-۱- نمودار تغییرات وابسته به زمان در یک سیستم گسسته

سیستمهای پیوسته: در سیستمهای پیوسته، تغییر وضعیت سیستم نسبت به زمان به شکل پیوسته صورت می‌گیرد. در شکل ۲-۲ نمودار تغییرات متغیر وابسته به زمان در یک سیستم پیوسته مشاهده می‌شود. برای مثال در سیستم تصفیه‌خانه تغییرات مقدار مایع موجود درتصفیه‌خانه نسبت به گذر زمان پیوسته می‌باشد[۱].



شکل ۲-۲- نمودار تغییرات وابسته به زمان در یک سیستم پیوسته

۲-۲- مدل

یک مدل به صورت ترکیب مناسبی از خصوصیات یک سیستم و اطلاعات لازم مربوطه که به منظور بررسی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد تعریف می‌شود [۱]. به عبارت دیگر، هر مدل نمایانگر بعضی از جنبه‌های واقعیات یک سیستم می‌باشد و هدف از تشکیل آن آشکار نمودن مواردی است که تصمیم گیرنده برای تصمیم گیری به آنها نیاز دارد [۵] .

تحلیلگران سیستم اغلب علاقمند به مشاهده نتایج تغییرات در بعضی از پارامترهای سیستم و ارزیابی و تحلیل اثرات این تغییرها بر خروجی سیستم می‌باشند. اعمال این تغییرات به روی سیستم واقعی اغلب از نظر معیارهای هزینه‌ای، ایمنی و زمانی مشکل و در بسیاری از موارد غیرممکن می‌باشد، لذا تحلیلگران در اغلب موارد، با ایجاد مدلهایی از سیستم واقعی شرایط انجام آزمایشی، کنترل شده را فراهم می‌آورند [۱]. به عنوان مثال می‌توان از اتاقک‌های پرواز نام برد که در آن بصورت فیزیکی، محیط هواپیما برای آموزش وآزمایش خلبانی شبیه‌سازی شده است.

۲-۲-۱- انواع مدل

مدلها بر معیارهایی از قبیل : معیارهای فیزیکی و انتزاعی (مدلهای فیزیکی و ریاضی)، معیارهای زمانی (ایستا و پویا)، میزان دقت در جواب (مدلهای تحلیلی و تقریبی) و میزان قطعیت در جواب و تعیین پارامترها (مدلهای قطعی و احتمالی) دسته‌بندی می‌شوند. شایان ذکر است تعاریف و کاربردهای مدلهای فوق در کتابهای شبیه‌سازی بخوبی تشریح شده است [٤].

با توجه به این معیارها و میزانهای تقسیم بندی مدلها می‌توان خصوصیات کلی مدلها را به صورت زیر بیان کرد:

مدل فیزیکی: شامل خصوصیات عمده و فیزیکی سیستم است تنها در مقیاس کوچکتر و بزرگتر.

مدل ریاضی: در این مدل برای نمایش سیستم به جای وسایل فیزیکی از متغیرها، معادلات و توابع ریاضی استفاده می‌شود.

مدل ایستا: در این مدل بعد زمان بطورکلی نادیده گرفته می‌شود.

مدل پویا: بر عکس مدلهای ایستا بعد زمان در نظر گرفته می‌شود.

مدل تحلیلی این‌گونه مدلها دارای جواب دقیق می‌باشند.

مدل عددی: این‌گونه مدلها دارای جواب تقریبی اند.

مدل قطعی: این‌گونه مدلها دارای جواب قطعی اند.

مدل احتمالی: این‌گونه مدلها دارای جواب قطعی و ثابت نیستند.

مدلهای احتمالی شامل متغیرهای احتمالی می‌باشند. هر یک از متغیرهای مزبور به صورت تصادفی تغییر می‌کند. تغییرات اینگونه متغیرها می‌تواند از توابع توزیع نرمال، نمایی، پواسون ونظایر آن تبعیت کنند. لذا برای بدست آوردن بهترین تابع توزیع برای یک متغیر به داده های دقیق و کافی نیاز داریم.

برای شبیه‌سازی مدلهای احتمالی، باید متغیرهای احتمالی مزبور با توجه به نوع توزیع احتمالی‌شان تولید شده و سپس داخل مدل قرار بگیرد. یکی از روشهای مرسوم نمونه گیری؛ روش مونت کارلو می‌باشد. روش مونت کارلو به شکل گسترده ای در شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده می‌شود. از اینرو در ذیل توضیح مختصری درباره این روش ارائه می‌شود.

۲-۲-۲- نمونه گیری مونت کارلو

این روش بیشتر در شبیه‌سازی سیستمهایی بکار می‌رود که دارای عناصر تصادفی یا احتمالی هستند، اما در بعضی از مسائل کاملا قطعی که بطور تحلیلی قابل حل نیستند نیز می‌توان از آن استفاده کرد. در روش مونت کارلو با استفاده از یک مولد اعداد تصادفی و توزیع احتمال تجمعی مورد نظر، تجربه‌ها یا داده‌های ساختگی تولید می‌شوند[۵]. مولدهای اعداد تصادفی عبارت از جدول اعداد تصادفی، چرخ بازی و یک برنامه کامپیوتری می‌باشند.

مراحل بدست آوردن نمونه ای ساختگی و تصادفی از یک جامعه آماری که با یک تابع احتمال توصیف می‌شود شامل موارد زیر است:

۱- به کمک اطلاعات جمع آوری شده، تابع توزیع متغیر احتمالی مورد نظر را به صورت تجمعی رسم کنید، به نحوی که مقادیر متغیر روی بعد افقی یا محور x ها و احتمالهای مربوط از صفر تا یک روی بعد عمودی یا محور y ها باشند.

۲- بوسیله یک مولد اعداد تصادفی، یک عدد اعشاری تصادفی (RN [1]) بین صفر و یک انتخاب کنید.

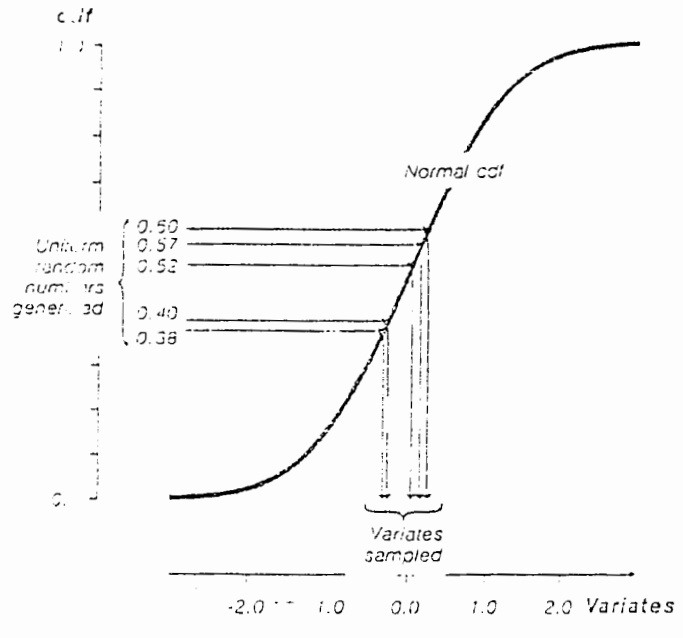
۳- از نقطه ای روی محور y ها که متناظر با این عدد اعشاری تصادفی است خطی به موازات محور x ها رسم کنید تا منحنی توزیع تجمعی را قطع کند.

٤- از نقطه برخورد فوق خطی عمود به محور x ها رسم کنید.

٥- مقدار متغیر x متناظر با این نقطه تقاطع را یاد داشت کنید. آنگاه این مقدار x ها را به‌عنوان یک مقدار نمونه اختیار کنید.

٦- مراحل ۲ الی ٦ را تکرار کرده یا اینکه به مقدار کافی متغیرهای تصادفی با حفظ ترتیب تولید. تولید شوند [٥].

در شکل ۲-۳ روش نمونه گیری مونت کارلو مشاهده می‌شود. بطور خلاصه روش مونت کارلو با تولید اعداد تصادفی و با توجه به توزیع احتمالی متغیر، نمونه‌گیری می‌کند.



شکل ۲-۳- روش نمونه گیری مونت کارلو[٦]

[1] Random Number

۲-۳- دامنه کاربرد شبیه‌سازی

مدلهای شبیه‌سازی، رفتار سیستم را " تقلید " می‌کنند. این عمل تقلید با مشخص کردن یک سری پیشامدهایی صورت می‌گیرد که از لحظات وقوع آنها می‌توان اطلاعات مهمی درباره رفتار سیستم جمع آوری نمود . وقتی چنین پیشامدهایی تعریف شدند لازم است تنها زمانی به سیستم توجه شود که پیشامدی رخ داده باشد. این اطلاعات که اندازه هایی از عملکرد سیستم را بدست می‌دهند، به‌عنوان مشاهدات آماری جمع آوری، و با وقوع هر پیشامد جدید تبدیل و اصلاح می‌شود[۷] .

مدلهای شبیه‌سازی برای بیان روابط متغیرها با یکدیگر، احتیاج به توابع ریاضی وصریح ندارند. معمولا می‌توان سیستمهای پیچیده ای را که مدلسازی برای آنها ممکن نیست و یا از لحاظ ریاضی نمی توانند حل شوند، شبیه‌سازی کرد. بعلاوه، این انعطاف پذیری مدلهای شبیه‌سازی امکان نمایش دقیقتر مدل مورد نظر را فراهم می‌سازند.

عیب عمده شبیه‌سازی این است که تحلیل مدل بوسیله انجام تعدادی آزمایش صورت می‌گیرد و لذا تابع خطای آزمایشی می‌باشد. این امر به مشکلات متداول در طرح آزمایش (از نظر آماری)، جمع آوری نتایج آزمایش، و سپس اجرای آزمونهای استنباط آماری لازم، منجر می‌شود[۷] .

با توجه به توضیحات داده شده می‌توان گفت تحلیلگر در صورت وجود یک یا چندین شرط زیر باید از شبیه‌سازی استفاده کند:

الف— تدوین ریاضی کاملی از مسئله وجود نداشته یا برای حل مدل ریاضی، هنوز روشهای تحلیلی بوجود نیامده باشند.

ب- روشهای تحلیلی وجود داشته اما شیوه های ریاضی آنقدر پیچیده و سخت باشند که شبیه‌سازی روشی ساده و عملی‌تری برای حل مسئله به حساب آید [۳] .

ج— راه‌حل‌های تحلیلی وجود داشته یا به دست آوردن آنها امکان پذیر بوده، اما انجام آن خارج از توان ریاضی و آماری متخصصین باشد [۳] .

د- مدلسازی به صورتی غیر از شبیه‌سازی غیر ممکن باشد و یا از نظر هزینه و ایمنی مطلوب نباشد [۳] .

ه- نیاز به تراکم، گسترش و توقف زمان برای تحلیل مدل وجود داشته باشد [۳] .

طبیعتا، مدل شبیه‌سازی به خوبی مدلهای ریاضی (تحلیل) که یک جواب کلی برای مسئله به دست می‌دهند نمی باشند. از اینرو تنها در شرایطی که برای توصیف یک سیستم واقعی مدلهای ریاضی بسیار پیچیده باشند و حل آنها براحتی امکان پذیر نباشد، به شبیه‌سازی به‌عنوان ابزاری بسیار ارزشمند روی می‌آورند. به همین جهت گاهی از شبیه‌سازی به‌عنوان آخرین روش نام برده می‌شود [۷] .

۲-۴- روشهای شبیه‌سازی

شبیه‌سازی دارای انواع مختلفی است که به شرح هر یک از آنها می‌پردازیم.

الف-شبیه‌سازی همانی

در این روش خود سیستم را به‌عنوان مدل آن در نظر می‌گیرند و رفتار آنرا بررسی می‌کنند. از معایب این روش، غیرعملی بودن آن در مورد بعضی سیستمها، مخارج زیاد بکارگیری و کم بودن امکان کنترل متغیرهای سیستم را می‌توان نام برد [۱] .

ب-شبیه‌سازی نیمه همانی

در مطالعه سیستم سعی می‌گردد تا آنجا که امکان دارد از اجزاء و قوانین واقعی سیستم استفاده گردد. در این نوع شبیه‌سازی تنها اجزاء یا مراحلی از سیستم واقعی که باعث غیر ممکن ساختن شبیه‌سازی همانی است مدلسازی می‌گردد [۱] .

ج-شبیه‌سازی آزمایشگاهی

در این روش بعضی از نمادها و اشیاء سیستم واقعی بوسیله امکانات آزمایشگاه مربوط ساخته شده و بعضی نمادها و روابط دیگر بوسیله سمبولها جایگزین می‌گردند. آنگاه مدل ساخته شده بوسیله عملگرهای سیستم شروع به عمل می‌کند [۱] .

د-روش مونت کارلو

این روش را در واقع نمی توان از انواع شبیه‌سازی دانست همانگونه که دیده شد این یک تکنیک محاسبه عددی برای حل بعضی مدلهای تحلیلی می‌باشد. اما از آنجاییکه گاهی نام شبیه‌سازی مونت کارلو به آن داده شده است، در ردیف انواع شبیه‌سازی ذکر می‌گردد [۱] .

ه-شبیه‌سازی کامپیوتری

در شبیه‌سازی کامپیوتری، مدلی از سیسم ایجاد و بصورت یک برنامه کامپیوتری اجرا می‌شود. یعنی کلیه اجزاء سیستم به ساختارهای برنامه ای، و کلیه مشخصات و رفتار آنها به متغیرها و توابع ریاضی تبدیل می‌گردند. قوانین و روابط حاکم بر سیستم، ساختارها و ارتباط‌شان با یکدیگر در اجرای برنامه، جاری می‌باشند. با توجه به اهمیت روز افزون این نوع شبیه‌سازی، در فصل بعدی توضیحات بیشتری راجع به آن ارائه شده است.

با این حال شبیه‌سازی کامپیوتری از نظر مفهومی، یک ابزار و روش برای دریافت جواب از مدل می‌باشد. از اینرو مدلهای شبیه‌سازی را اصطلاحا مدلهای ورودی - خروجی می‌نامند؛ یعنی با معلوم بودن ورودی‌های زیر سیستمهایی که متقابلا عمل می‌کنند. و با در نظر گرفتن منطق موجود بین زیر سیستمها و اجزاء سیستم، مدل شبیه‌سازی قادر به تولید خروجی سیستم می‌باشد. بنابراین مدل شبیه‌سازی کامپیوتری را به جای حل کردن [1] اجرا می‌کنند. بنابراین مدلهای شبیه‌سازی برخلاف مدلهای تحلیلی، مستقلا قادر به

---

[1]- SOLUTION 2-Run

دادن جواب نیستند بلکه تنها می‌توانند تحت شرایطی که توسط شبیه‌ساز مشخص می‌شوند به‌عنوان وسیله ای برای تحلیل رفتار سیستم مورد استفاده قرار گیرند [۳] .

شبیه‌سازی کامپیوتری بعلت کاربردی بودن در اغلب موارد و دارا بودن امتیازهای خاص خود برای بررسی و مطالعه اغلب سیستمها از قبیل حمل و نقل، بیمارستان، سیستمهای صنعتی، تولیدی، عملیاتهای معدنی، ترافیک، انبار و غیره بکار گرفته می‌شود[۱] .

فصل سوم

شبیه‌سازی کامپیوتری

در فصل قبل با مفاهیم مدل، سیستم و شبیه‌سازی آشنایی اجمالی صورت گرفت. هنگامی که سیستمی با روش شبیه‌سازی کامپیوتری مدل می‌شود، در واقع مدل، برای مدت زمانی رفتار سیستم را تقلید می‌کند. برای شبیه‌سازی سیستم، مدلساز باید از یک رویکرد شبیه‌سازی استفاده کند و با انجام مراحل شبیه‌سازی، به تجزیه و تحلیل سیستم مورد نظر بپردازد.

۳-۱- مدلسازی

شبیه‌سازی کامپیوتری به فرایند مدلسازی با استفاده از روابط ریاضی- منطقی و همچنین اجرای مدل بوسیله کامپیوتر اطلاق می‌شود. قوانین و قواعد بکار رفته برای توضیح و تفسیر سیستم در یک مدل شبیه‌سازی شامل عبارات ریاضی و جملات منطقی می‌باشد(۲).

به عنوان مثال یک سیستم صف یک طرفه را در نظر بگیرید. بخشی ازمدل شبیه‌سازی این سیستم شامل عبارات زیر می‌شود که ماهیت ریاضی و عددی دارند: "زمان ورود هر مشتری به سیستم"، "زمان انتظار" و "زمان خروج هر مشتری از سیستم" (۲).

از سوی دیگر وقتی عملکرد سیستم را تشریح میکنیم، از عبارات زیر استفاده می‌کنیم که ماهیت منطقی دارند: از عبارت " اگر مشتری وارد شد و سرویس دهنده بیکار بود، سرویس او شروع می‌شود و اگر نه مشتری در صف قرار می‌گیرد" [۲] .

مدل‌های شبیه‌سازی کامپیوتری برنامه های کامپیوتری هستند که تغییر وضعیت‌های یک سیستم را بر حسب متغیر مستقل زمان محاسبه و بر ساختارهای برنامه ای[1] یا داده ای [2] که مشابه اجزاء سیستم

---

[1]_Program Structures 2-Data Structure

و مشخصات آنها هستند اعمال می‌کنند [۱]. مدل حاصل به صورت یک برنامه کامپیوتری است یعنی کلیه اجزاء سیستم بصورت ساختارهای برنامه ای و کلیه مشخصات و رفتار آنها بصورت توابع ریاضی و متغیرها بیان شده و قوانین و روابط حاکم بر سیستم به صورت منطق‌های برنامه نویسی در می‌آید [۷] .

۳-۲- گذر زمان در مدلهای شبیه‌سازی

اغلب مدلهای شبیه‌سازی کامپیوتری، از دسته مدلهای ریاضی-پویا-عددی هستند. پویایی آنها مستلزم وجود متغیر زمان در مدل است. این متغیر را اغلب ساعت شبیه‌سازی می‌نامند. زمانهایی را که این ساعت نشان می‌دهد دقیقاً همان لحظات وقوع پیشامدها و تغییر وضعیت‌ها در سیستم واقعی می‌باشد [۱] . ساعت شبیه‌سازی در یک مدل کامپیوتری بوسیله یک متغیر، مثلا **Clock،C** یا **T** وگذر زمان بوسیله تغییر مقدار این متغیر شبیه‌سازی می‌شود. مقدار اولیه این متغیر همان لحظه شبیه‌سازی می‌باشد [۱]. گذر زمان در مدل با استفاده از یکی روشهای زیر شبیه‌سازی می‌شود.

۳-۲-۱- روشهای زمانداری

روشهای مختلفی برای وارد نمودن بعد زمان به سیستم وجود دارد که دو نوع آن در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

الف - افزایش زمان با مقدار ثابت. در این روش ساعت شبیه‌سازی هر بار به اندازه یک مقدار ثابت، مثلاً **TS** که به آن گام زمانی[1] می‌گویند افزایش داده می‌شود. آنگاه مدل را مرور کرده تا تغییرات و تحولاتی که در این لحظه می‌تواند رخ دهند مشخص گردند [۱].

ب- **افزایش زمان با مقدار متغیر(زمان بندی پیشامدها).** در این روش بعد از انجام کلیه تغییرات حاصل از وقوع یک پیشامد ساعت شبیه‌سازی به زمان وقوع اولین پیشامد بعدی که پیش بینی شده افزایش داده می‌شود، تغییرات لازم انجام و دوباره افزایش ساعت با اندازه فاصله دیگری تا پیشامد بعدی

[1] -Time step

تکرار می‌گردد [۱].

هریک از روشهای زمانداری فوق در شرایط معینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. انتخاب روش زمانداری بستگی به ماهیت سیستم خاصی که مدل می‌شود دارد.

۳-۲-۲- شرایط بکارگیری روشهای زمانداری

بطور خلاصه شرایط استفاده از روش زمانداری با مقدار ثابت عبارتند از [۵]:

۱. پیشامدها به سبکی منظم و با فواصلی نسبتاً مساوی اتفاق می‌افتند.

۲. تعداد زیادی از پیشامدها در زمان شبیه‌سازی شده T اتفاق می‌افتند و میانگین طول پیشامدها کوتاه است.

۳. مانند مراحل اولیه بررسی، ماهیت دقیق پیشامدهای عمده معلوم نیستند.

از طرف دیگر، در روش زمانداری با مقدار متغیر باید به موارد زیر توجه کرد [۵].

۱. وقتی سیستم ایستاست در وقت کامپیوتر صرفه جویی می‌کند، یعنی هیچ پیشامدی جمعی برای دوره های زمانی طولانی اتفاق نمی افتد.

۲. به تصمیم درباره اندازه نمو زمانی مورد استفاده (که بر مدت و نیز دقت محاسبات تأثیر می گذارد) نیازی نیست.

۳. برای هنگامی مفید است که پیشامدها به طور غیر یکنواخت در زمان اتفاق می‌افتد و یا میانگین طول پیشامدها بزرگ اند.

۳-۳- رویکردهای متداول جهت ایجاد مدلهای شبیه‌سازی

همانگونه که قبلا ذکر شد یک سیستم متشکل از اجزایی است که بصورت دائمی و موقت در آن می‌باشند. این موجودیت‌ها در طول زمان عملکرد سیستم با توجه به منطقی که ناشی از هدف سیستم است و با انجام فعالیتهای مختلف رفتار سیستم را رقم می‌زنند.

در یک مدل شبیه‌سازی هدف این است که با تکرار فعالیتهای مختلفی که اجزاء سیستم از آن عبور می‌نمایند، وضعیت سیستم را در زمانهای مختلف بررسی کرده و رفتار سیستم را در حالتهای مختلفی ارزیابی نمود.

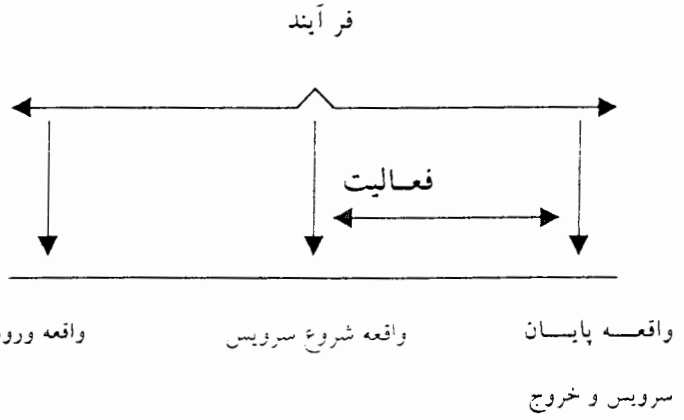
منظور از وضعیت سیستم[1]، مقادیر مشخصات اجزاء سیستم در زمانهای مختلف می‌باشد. بنابراین یک مدل شبیه‌سازی را می‌توان با توجه به سه اصل زیر ایجاد نمود:

الف- تعریف تغییرات وضعیت سیستم در زمان وقوع وقایع.

ب- تعریف فعالیتهایی که اجزاء در زمانها و شرایط مختلف از آنها می‌گذرند.

ج- تعریف فرایندهایی که نهادها در طول گذر از سیستم تکمیل می‌نمایند.

با توجه به سه اصل فوق مشخص می‌شود که سه واژه کلیدی در ایجاد مدلهای شبیه‌سازی عبارتنداز: واقعه، فعالیت و فرایند. در شکل ۳-۱ رابطه بین این سه واژه با در نظر گرفتن یک عملیات سرویس ساده تشریح شده است.



شکل ۳-۱- ارتباط بین وقایع، فعالیتها و فرایندها [۲]

[1] State

ارتباط مفاهیم واقعه، فعالیت و فرایند در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. وقایع در نقاط خاصی از زمان اتفاق می‌افتد و آن عبارت از تصمیماتی است که در ابتدا یا انتهای یک فعالیت انجام می‌شود یک توالی از وقایع را در طول زمان فرایند گویند. مفاهیم مذکور سبب شکل گیری سه رویکرد کلی در مورد مدلهای شبیه‌سازی شده اند [۲].سه رویکرد مزبور عبارتنداز:

رویکرد تشریح وقایع [۱] رویکرد جستجوی فعالیتها [۲] و رویکرد تشریح فرایندها [۳].

۳-۳-۱- شبیه‌سازی با رویکرد تشریح وقایع

در این رویکرد سیستم بوسیله تعریف تغییراتی که در زمانهای وقوع وقایع رخ می‌دهد مدل می‌شود. وظیفه مدلساز در این روش تشخیص کلیه وقایعی است که موجب تغییر وضعیت سیستم می‌شوند و نیز منطقی که در پی وقوع یک واقعه، سیستم بر طبق آن تغییر می‌یابد،می باشند. در این روش مدلساز جدولی به نام تقویم وقایع [۴] ترتیب می‌دهد که در آن وقایع به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند. مکانیزم گذر زمان به ترتیب وقایع موجود در این تقویم را انتخاب کرده و مکانیزم پردازش وقایع با توجه به الگوریتم از پیش تعیین شده جهت پردازش واقعه عمل میکند [۲].در شکل ۳-۲-نمای ساده برنامه کنترل شبیه‌سازی با این روش مشاهده می‌گردد.

واضح است با پردازش هر یک از وقایع زمان وقوع حداقل یک پش آمد اصلی دیگر تعیین و در جدول قرار می‌گیرد. بطور خلاصه در مدلهای مذکور، پیشامدها از قبل زمان بندی شده و حرکت زمانی (زمان شبیه‌سازی شده) از یک پیش آمد به پیش آمد بلافاصله بعد از آن می‌باشد. این روش مدلسازی را روش زمان بندی پیشامدها نیز می‌گویند [۱].

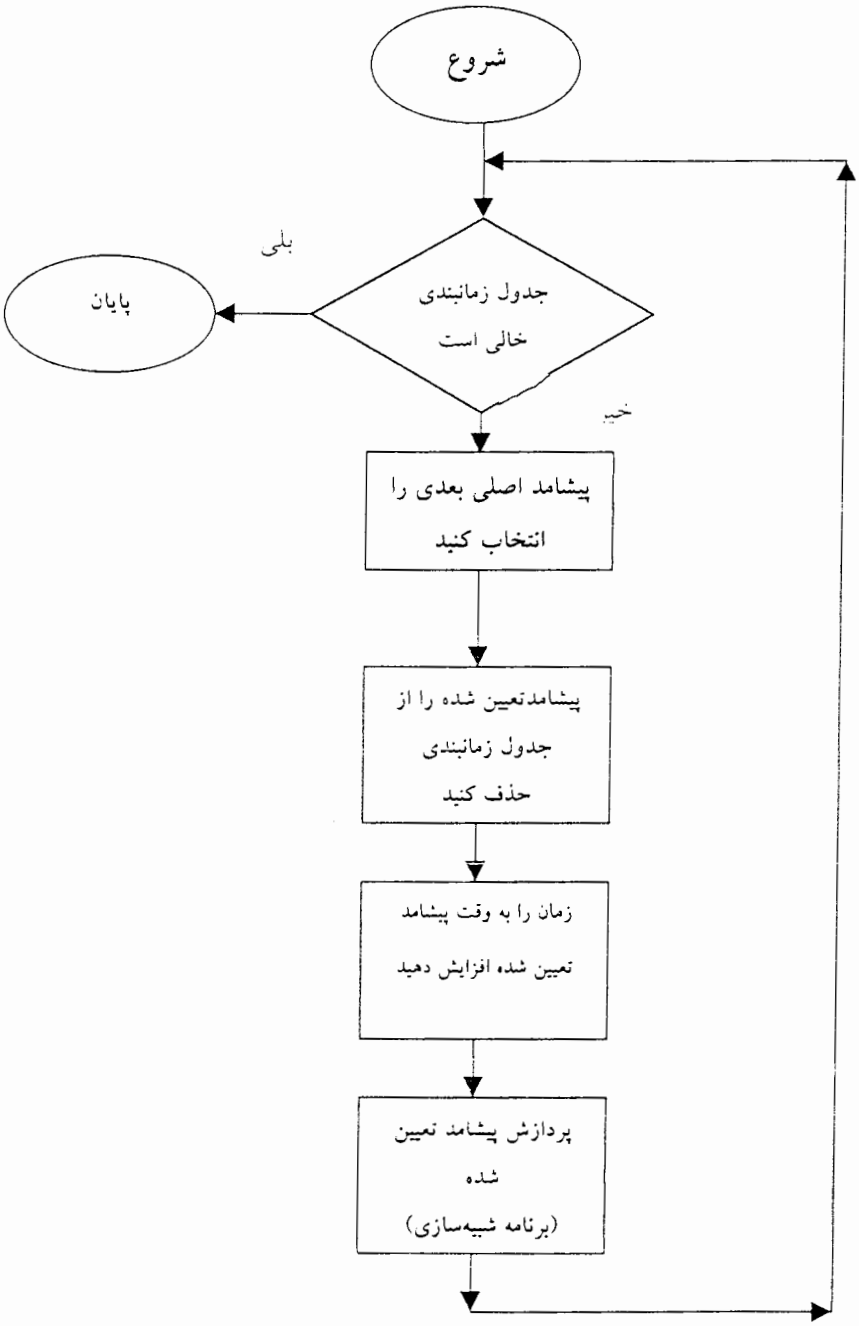
---

[1] _ Event Operation

[2] _ Activity Scaning Orientation

3-Process Operation

[4] _ Event Calender



شکل ۳-۲- فلوچارت برنامه کنترل شبیه‌سازی با رویکرد تشریح وقایع[۱]

اگر مدلساز مدل کامپیوتری خود را با استفاده از زبانهای همه منظوره نظیر فرترن ویا بیسیک تهیه کند نیاز به برنامه نویسی گسترده برای تشریح منطق مربوط به وقایع و انجام شبیه‌سازی(انتخاب وقـایع و

جلوبردن زمان) دارد که خود مستلزم وقت و هزینه بسیار است [۲]. زبانهای شبیه‌سازی معروف GASP و SIMSCRIPT از روش زمان بندی پیشامدها استفاده می‌کنند. لذا برنامه نویس در این زبانها تنها موظف به نوشتن زیر برنامه های پردازش پیشامدهای اصلی که تغییر وضعیت های حاصل از وقوع پیشامدها را در مدل اعمال می‌کنند، می‌باشد.

۳-۳-۲- شبیه‌سازی بارویکرد جستجوی فعالیتها

در این رویکرد مدلساز باید کلیه فعالیتهایی که در سیستم ممکن است رخ دهد را به همراه شرایط شروع و پایان آنها تعریف کند. در این روش گذر زمان از یک واقعه به واقعه دیگر نمی باشد بلکه بصورت ثابت برده و در هر افزایش زمان کلیه شرایط برای وقوع فعالیتها آزمایش شده و فعالیتهایی که شرایط شروع و پایان آنها فراهم باشد، پردازش می‌شود.مسلم است که این روش بدلیل جستجوی مکرر جهت برقراری شرایط شروع یا پایان فعالیتها از کارایی بالایی نسبت به رویکرد وقایع برخوردار نیست اما عملاً در مواردی که مدت زمان اجرای یک فعالیت از پیش تعیین شده نیست و وابسته به حالت سیستم است کاربرد دارد [۲و۱].

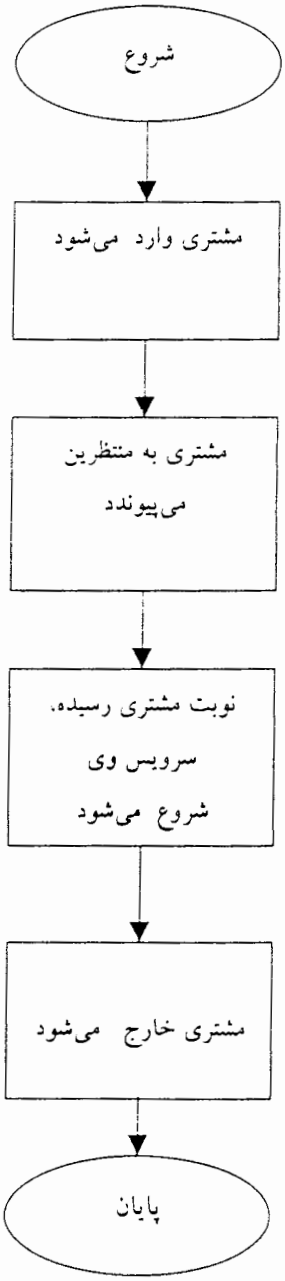
از آنجایی که در زبانهای شبیه‌سازی کمتر این رویکرد بکار برده شده است، به همین توضیح مختصر در مورد آن اکتفا می‌شود.

۳-٤-۳-شبیه‌سازی با رویکرد تشریح فرایندها

اکثر سیستمهای مورد بررسی جهت مدلسازی شامل ترتیب های متوالی از وقایع هستند که می‌توان آنها را درقالب های مشخص تعریف کرد.یک رشته پیشامدهای متوالی که به طریقی بهم مرتبط می‌باشند و یک نتیجه را تولید می‌کنند ،یک فرایند گویند [۱].

یک مدل شبیه‌سازی با این روش بجای تعیین و پردازش تغییرات حاصل از پیشامدها، . شامل

مراحل انجام فرایندها می‌باشد.بعبارت دیگر ،یک مدل پردازش فرایندها شامل دستورالعمل های[1] لازم برای انجام یک یاچند فرایند می‌باشد. این دستورالعمل‌ها حرکت اجزاء موقت (نهادهای گذرنده) را در سیستم به منظور تکمیل یک فرایند مشخص می‌سازند[۲و۱].



شکل ۳-۳- فلوچارت سیستم - روش پردازش فرایندها، فرم کلی [۱]

[1] به چند دستورالعمل که یک فرایند را تشریح می‌کنند یک(بلوک)گویند.

در رویکرد پردازش فرایند ها زمانیکه یک جزء موقت وارد سیستم می‌شود، برنامه شبیه‌سازی سعی می‌کند مراحل لازم برای انجام فرایند مربوط را در مورد آن اجرا کند. به عبارت دیگر سعی می‌گردد که شیی تازه وارد تا آنجا که ممکن است از مراحل مختلف و با حفظ ترتیب آنها بگذرد [۱].

لازم به یادآوری است که رویکرد تشریح فرایندها اگر چه بوسیله فراهم آوردن دستورات استاندارد کامپیوتری باعث سهولت مدلسازی می‌شود، اما از آنجا که مدلسازی در تعریف سیستم محدود به استفاده از فرایندهای استاندارد می‌شود قابلیت انعطاف مدلسازی نسبت به روش تشریح وقایع کمتر خواهد بود[۲].

زبانهای شبیه‌سازی **GPSS**و **SIMULA** از زبانهای شبیه‌سازی معروفی هستند که از این رویکرد استفاده می‌کنند.

۳-۳-٤-انتخاب رویکرد مناسب جهت ایجاد مدل شبیه‌سازی

همانگونه که عنوان گردید جهت ایجاد یک مدل شبیه‌سازی رویکرد های مختلفی وجود دارد. اگر مدلساز بخواهد مدل خود را با استفاده از یکی از زبانهای عمومی نظیر**VISUAL.BASIC** **FORTRAN** و **C** ونظایر اینها ایجاد نماید، مختار است تا از هر یک از رویکردهای ذکر شده استفاده نماید. در این حالت انتخاب رویکرد مناسب به سلیقه مدلساز و شرایط سیستم مورد نظر بستگی دارد. اما اگر مدلساز بخواهد از زبانهای مخصوص شبیه‌سازی نظیر **GPSS, SLAM،SIMSCRIPT** و نظایر اینها استفاده نماید، مجبور به اطاعت از رویکرد حاکم بر آن زبان خاص جهت مدلسازی سیستم می‌باشد.

۳-٤- مراحل شبیه‌سازی کامپیوتری

شاید بعضی تصور کنند که یک آزمایش شبیه‌سازی تنها شامل شناخت سیستم و ساختن مدل کامپیوتر ی آن می‌باشد. در صورتیکه ساختن مدل سیستم بوسیله یک زبان کامپیوتری تنها یکی از قدمهای لازم آزمایش است [۱].گامهای اساسی در یک مطالعه شبیه‌سازی به شرح زیر است:

۱. **تعریف مسئله.** هر مطالعه شبیه‌سازی با تعریف مسئله شروع شود. اگر مسئله توسط تعیین کنندگان خط یا صاحبان مسئله ارائه شود، تحلیلگر باید از درک صحیح مسئله ارائه شده اطمینان حاصل کند [۳].

۲. **تعیین اهداف و طرح کلی اجرا.** اهداف تعیین کننده پرسشهایی اند که باید با استفاده از شبیه‌سازی برای آنها پاسخ ارائه کرد[۳].

۳ . **مدلسازی.** ساختن مدل برای یک سیستم همانقدر کاری هنری شمرده می‌شود که کاری عملی. تقویت هنرمدلسازی با استعداد مجرد کردن خصوصیات اساسی مسئله ،انتخاب و اصلاح فرضهای اصلی شکل دهنده سیستم، و غنی‌سازی و توسعه مدل، به گونه ای که به تقریب سودمندی بیانجامد، صورت می‌گیرد [۳].

٤. **گردآوری داده ها.**گرد آوری داده ها بخش بزرگی از مجموع مدت مورد نیاز برای انجام شبیه‌سازی را می‌گیرد ضروری است که آنرا تا حد ممکن زود و معمولا همراه با مراحل اولیه ساختن مدل آغاز کرد [۳].

۵. **برنامه نویسی.**مدل بصورت یک برنامه کامپیوتری برنامه نویسی می‌شود. مدلساز باید تصمیم بگیرد که آیا باید آنرا به یکی از زبانهای عمومی مانند فرترن برنامه نویسی کند یا به یکی از زبانهای خاص شبیه‌سازی مانند SIMSCRIPT.GPSS و نظایر اینها [۵].

٦. **تصحیح برنامه.**تصحیح برنامه کامپیوتری آماده شده برای مدل شبیه‌سازی برای اینکه آیا برنامه کامپیوتر به درستی کار می‌کندیا خیر؟[۳].

۷. **تعیین اعتبار مدل.**افزایش اطمینان به مدل تا سطح قابل قبولی که استنباط بدست آمده از آن در موردسیستم واقعی ، صحیح باشد[۵].

۸ **طرح آزمایش** .انجام یک شبیه‌سازی کاملا مشابه با انجام آزمایش در یک آزمایشگاه می‌باشد اجرای شبیه‌سازی ، به این منظور انجام می‌شود که داده ها ی مطلوب تولید شوند و تحلیل حساسیت انجام گیرد [۵،۱].

۹. **اجرای مدل و تحلیل نتایج**. اجرای مکرر مدل شبیه‌سازی شده وتحلیل آن به منظور برآورد معیارهای عملکرد طراحیهائی از سیستم که شبیه‌سازی میشود به کار می رود و بر اساس اجرا هایی که کامل شده اند تحلیلگر تعیین می‌کند که آیا اجرا های اضافی مورد نیاز است و اگرچنین است، تجربه های اضافی از چه طرحی باید پیروی کنند [۳].

۱۰. **مستندسازی** .ثبت فعالیتها و نتایج پروژه و نیز مستندسازی مدل و موارد استفاده آن می باشد[۵].

۱۱. **کاربرد** .موفقیت این مرحله به این بستگی دارد که یازده گام پیش از آن چقدر خوب اجرا شده باشند .

۳-۷-مزایای بکارگیری شبیه‌سازی کامپیوتری

شبیه‌سازی کامپیوتری امکانات بسیار مناسبی در اختیار تحلیلگر قرار می‌دهد که در دیگر روشهای شبیه‌سازی وجود ندارد.در نتیجه تحلیلگر با بکارگیری این روش می‌تواند براحتی سیستم را مورد مطالعه و بررسی قرار دهد. مزایای این روش عبارتند از:

الف-کنترل مدت زمان شبیه‌سازی. دراین مدل زمان را می توان برحسب نیاز فشرده کرد و یا گسترش داد. درنتیجه بررسی کننده قادر است چندین سال از فعالیت یک سیستم را درچند ثانیه ملاحظه وبررسی نماید، و یا تغییراتی که بعلت بالا بودن سرعت ایجاد آنها درسیستم واقعی قابل مشاهده یا مطالعه نمی باشند می‌توان با کند نمودن زمان در مدل آن را کنترل و بررسی کرد[۸و۱].

ب-تست موثر سیستم بدون گسیختن سیستم .در یک بررسی گاه لازم است که حرکت زمان مشاهده وبررسی سیستم رامتوقف کرده و نتایج بدست آمده تا این لحظه را مطالعه نمود وپس از تصمیمهای لازم، بررسی را از همان نقطه توقف از سرگرفت .برای اینکار تمام پدیده های وابسته به سیستم مورد بررسی باید وضعیت خود را تا شروع مجدد بررسی و آزمایش دقیقا حفظ کند. این امکان

در همه روشهای مطالعه سیستمها وجود ندارد ،امادر شبیه‌سازی کامپیوتری عمل مذکور به سادگی صورت پذیر است [۱].

ج- آنالیز حساسیت سیستم: در این روش براحتی میزان اثر متغیرها و چگونگی تاثیر متغیرها روی یکدیگر تعیین می گردد [۸].بدین منظور باید در هریک از دفعات تکرار، تنها مقادیر بعضی از پارامترها را به منظور دریافت اثر آنها به رفتار سیستم و نتایج حاصل تغییر داد .

د: کاهش ریسک . شبیه‌سازی کا مپیوتری قادر به بررسی تغییرات جدید در سیستمهای موجود و مطالعه سیستمهایی که در مرحله طرح هستند، قبل از صرف هرگونه نیرو،سرمایه و زمان برای پیشرفت و یا ایجاد فیزیکی آنها میباشد. همچنین بررسی و آزمایش سیستمهای فرضی که احیانا ایجاد مطالعه آنها به وسیله روشهای دیگر غیر ممکن یا خطرناک میباشد. با این روش امکان پذیر است [۱].

و- آنالیز "چرا اگر؟" (what is ?). در این روش براحتی می‌توان وضعیتهای جدید را اعمال کرد و نتایج آنرا در مدل مشاهده نمود [۸].

ر- ابزار ارتباطات . در این روش نتایج به صورت گویا روی صفحه نمایش ارایه می‌گردد حتی براحتی می توان با بکارگیری برنامه‌های انیمیشن‌ساز نمایشی از عملیات و نتایج را روی صفحه نمایش کامپیوتر مشاهده کرد [۸].

با توجه به مزایای فوق ، اهمیت بکارگیری این روش برای تجزیه و تحلیل سیستمهای بسیار پیچیده محسوس میباشد . از اینرو روش مزبور دارای کاربردهای زیادی در صنایع مختلف می‌باشد . بدلیل اهمیت وکاربردهای فراوان شبیه‌سازی کامپیوتری برنامه ها و نرم‌افزارهای متعددی توسعه داده شده‌اند که در ادامه به بررسی مهمترین آنها خواهیم پرداخت.

فصل چهارم

زبانهای برنامه‌نویسی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی

یک مدل کامپیوتری، برنامه کامپیوتری است که بوسیله دستورالعمل های کامپیوتری نوشته می‌شود . چنین مدلهایی با بکارگیری زبانهای همه منظوره (فرترن، بیسیک ونظایر آن) و یا زبانهای تک منظوره (GPSS، SLAM و نظایر آن) بصورت برنامه کامپیوتری نوشته می‌شود. در این بخش با ویژگیها، نقاط ضعف و قوت اینگونه زبانها آشنا می‌شویم.

٤-١- تقسیم بندی زبانهای شبیه‌سازی کامپیوتری

زبانهای شبیه‌سازی به دو دسته همه منظوره و تک منظوره تقسیم بندی می‌شوند.

٤-١-١- زبانهای همه منظوره

زبانهای همه منظوره برای حل گروه وسیعی از مسائل طرح ریزی شده اند، فرترن (FORTAN)،کوبل (COBOL)، بیسیک (BASIC)، PL/1 و آلگول (ALGOL) از زبانهای معروف همه منظوره می‌باشند [٥] . هنوز این زبانها از زبانهای مهم برای برنامه نویسی کامپیوتری در علوم مهندسی می‌باشند. بطوریکه از آنها در مباحثی مانند مکانیک سنگ یا تهویه معدن ونظایر اینها استفاده می‌شود.

در ابتدا برای شبیه‌سازی عملیاتهای معدنی از زبانهای همه منظوره استفاده می‌شد. این زبانها برای حالتهای خاصی استفاده می‌شدند و زمان بسیاری برای نوشتن برنامه صرف می‌شد. بیشتر این مدلها از یک ساعت جلوبر داخلی استفاده می‌کنند که زمان را ٠/٠١ ثانیه جلو می‌برند. برای اینکه مقدار

دقت مدل قابل اعتماد باشد مقدار افزایش زمان باید خیلی کوتاه باشد. برای مثال فرض کنید در یک ثانیه در عملیات معدنی ۱۰۰ رخداد رخ می‌دهد (برای مثال برای سیستم حمل و نقل رخدادها عبارتند از: بارگیری شاول، زمان انتظار تراک در صف - تخلیه تراک و ...). از اینرو امکان ده هزار رخداد در هر ثانیه وجود دارد و در یک ساعت باید شصت هزار رخداد آزمایش شود. لذا برای شبیه‌سازی یک معدن کوچک در یک هفته عدد نجومی از رخدادها بدست می‌آید. برای مثال یک تراک که طول مسیر را در پنج دقیقه می‌پیماید هر ۰/۰۱ ثانیه باید توسط برنامه تست شود. و برای هر منظور برنامه نویس باید جملاتی را بنویسد. حتی برای این مثال ساده، تعداد جملات برنامه خیلی زیاد می‌باشد بویژه اگر خروجی برنامه به شکل گرافیکی باشد. برنامه هایی از این قبیل زمان طولانی را برای اجرا نیاز دارند. درصورتیکه زبان شبیه‌سازی GPSS چنین مثالی را با تعداد اندکی جمله انجام می‌دهد و در چند ثانیه روی کامپیوتر اجرا می‌شود [۹].

بطور خلاصه می‌توان گفت، زبانهای همه منظوره در سطح وسیعی شناخته شده و در دسترس هستند. اما هیچ تسهیلاتی که مستقیما هدف کمک رسانی به شبیه‌ساز را داشته باشد ارائه نمی کنند. لذا شبیه‌ساز ناگزیر است الگوریتم زمان بندی پیشامدها و جلوبری زمان، توانایی گردآوری آمار، تولید نمونه ها از توزیعهای مشخص احتمالی و مولد گزارش را خود برنامه نویسی کند. استفاده از این زبانها برای مدلهای بزرگ می‌تواند کاملا دشوار باشد. بعلاوه، ممکن است این امر به مدلهایی بیانجامد که غلط گیری آن مشکل و اجرای آن کند باشد [۵].

٤-۱-۲- زبان های تک منظوره

زبانهای تک منظوره از قبیل GPSS، SLAM، GASP و... برای حل گروه خاصی از مسائل طراحی شده اند [٤] . این زبانها متشکل از دستور العملها و قوانین بدیع و ویژه خود بوده و مستقل از هر زبان دیگر دارای مترجم (همگردان[1]) مخصوص می‌باشند. دستورالعملهای اینگونه زبانها بسیار قوی

[1]- Compiler

بوده و اغلب پردازش یک پیشامد تنها با نوشتن یک دستور العمل صورت می‌گیرد. لذا فرایندهای یک سیستم را می‌توان با تعداد کمی دستور العمل شبیه‌سازی نمود [۱] .

زبانهای تک منظوره دارای وظایف یکسانی می‌باشند که آنها را از یک برنامه نویسی عمومی متمایز می‌کند. بعضی از این ویژگیها عبارتند از [۵] .

۱. تولید اعداد تصادفی

۲. تولید متغیرهای تصادفی

۳. جلوبردن زمان، به اندزه یک واحد و یا تا پیشامد بعدی

٤. ضبط داده ها برای اطلاعات خروجی

۵. انجام تحلیلهای آماری روی داده های ضبط شده

٦. تنظیم اطلاعات خروجی بر اساس قالبهای تعیین شده

۷. یافتن و گزارش کردن ناسازگاریهای منطقی و سایر شرایط خطا.

به اعتقاد کیویات[1] دو علت از مهمترین علل استفاده از زبانهای شبیه‌سازی به جای زبانهای همه منظوره، راحت بودن برنامه نویسی و بیان مفاهیم به وسیله آنها است. در مرحله مدلسازی و در روش کلی‌ای که برای آزمایش سیستم انتخاب می‌شود، بیان مفهوم مهم است. مزیت دیگر زبانهای تک منظوره، کاربرد آنها به‌عنوان وسایل برقراری ارتباط و مستندسازی است. از اینرو می‌توان سیستمهای شبیه‌سازی شده را به مدیران پروژه و استفاده کنندگان نا آشنا به برنامه نویسی آسانتر توضیح داد[۵]. قبل از آشنایی بازبانهای تک منظوره باید اشاره کرد: اینگونه زبانها صرفا به منظور تسهیل امر شبیه‌سازی و کمک به برنامه نویسی مدلهای شبیه‌سازی ابداع گردیده اند[۱].

[1]- Queyat

٤-١-٢-١- زبان شبیه‌سازی GPSS

زبان شبیه‌سازی GPSS در سال ۱۹٦۰ توسط جردن[1] برای مدلسازی کامپیوتری معماری تهیه شد. سپس از آن برای مدلسازی ماشین آلات کارخانه ها و اخیرا برای مدلسازی مسائل معدنی بکار می‌رود [۱۰].

از سال ۱۹٦۰ تاکنون GPSS وسیعترین کاربرد را در میان زبانهای شبیه‌سازی گسسته داشته است. دو دلیل این محبوبیت عبارتند از : آسانی فراگیری زبان (بویژه برای غیر برنامه نویسان) و مدت نسبتا کوتاهی که برای ساختن یک مدل پیچیده مورد نیاز است[2] [۳].

زبان شبیه‌سازی GPSS اصولا برای شبیه‌سازی سیستمهای گسسته (بخصوص صفی) طراحی شده است [۱] . GPSS یک زبان شدیدا ساختار بندی شده است که از روش زمان بندی پیشامدها استفاده می‌کند. نسخه‌های متعدد این زبان عبارتند از: GPSS/360، GPSS/v و دو نسخه جدیدتر آن به نامهای GPSS/H، GPSS/pc هستند [۱] . شایان ذکر است نسخه‌های قدیمی دارای نقایصی بودند که در نسخه های جدید بیشتر نقایص رفع شده است.

GPSS/H زبانی مطلوب برای شبیه‌سازی سیستمهای گسسته می‌باشد. و بعلت قابلیت انعطاف پذیری بالا، زبانی مناسب برای شبیه‌سازی عملیاتهای معدنی می‌باشد.

برای برنامه نویسی به زبان GPSS/H مراحل زیر مورد نیاز است :

- ایجاد فایل اسکی که شامل فایل داده می‌باشد.
- خواندن نتایج فایل اسکی بوسیله برنامه GPSS/H
- نوشتن برنامه کامپیوتری مدل
- اجرای مدل شبیه‌سازی شده و تولید نتایج خروجی

---

[1]- Gordon

[2] –طبق گفته استارگل برنامه هایی را که با زبان فرترن در ٤۰۰۰ دستور در ٦ ماه نوشته می‌شوند، می‌توان با زبان GPSS در ۲۰۰ دستور ، فقط در یک روز با غلط گیری نوشت[۹] .

در زبان GPSS می‌توان هر فرایند را شامل چندین دستورالعمل در نظر گرفت که هر یک از آنها معادل یک مرحله از فرایند می‌باشد که مانند یک زیر برنامه[1] در زبانهای عمومی می‌باشد[۱]. این زبان یک دیاگرام بلوکی[2] برای شرح سیستم فراهم می‌کند. و اشیاء موقت (تراکنها و یا مواد معدنی در کارخانه کانه آرایی) را می‌توان چنین تصور کرد که در دیاگرام بلوکی جاری‌اند. لذا از این زبان برای شبیه‌سازی سیستمهای دارای نهادهای‌گذرنده (اشیاء موقت) می‌توان استفاده کرد [۳] .

بطور معمول مطالعات در سیستمهای گسسته و یا پیوسته انجام می‌شود. با توجه به اینکه بیشتر عملیاتهای معدنی از نوع سیستم گسسته می‌باشند براحتی می‌توان از زبان شبیه‌سازی GPSS در شبیه‌سازی عملیاتهای معدنی استفاده کرد. بنابر گفته دکتر استارگل اگر چه اکنون این زبان بطور ابتدایی در صنعت بکار می‌رود، دارای قابلیت های شبیه‌سازی آسان، سریع و خیلی ارزان می‌باشد که بوسیله آن عملیاتهای پیچیده معدنی را می‌توان شبیه‌سازی کرد. با بکارگیری نوشتارهای جدید GPSS ، مهندس معدن بسادگی می‌تواند عملیاتهای معدنی پیچیده را در مدت زمان کوتاهی برنامه نویسی، غلط گیری و اجرا کند. بعلاوه، برنامه های کامپیوتری براحتی با گسترش عملیات تصحیح می‌گردند. و به هر تعداد سوال چه می‌شد اگر؟ مطرح شده در کوتاهترین زمان پاسخ مناسب می‌دهند [۱۱و۹].

بوئر[3] و کالدر[4] در سال ۱۹۷۳ از این زبان برای تعیین تعداد تراکهای بهینه در عملیاتهای معدنی، بور کویک[5] برای پیشگویی تولید معدن مس بوگینویل[6]، و استارگل در سال ۱۹۸۷ از آن برای تعیین محل مناسب سنگ شکنهای متحرک در داخل کاواک استفاده کردند [۱۲] .

مثال معروف آرایشگر جو که به زبان GPSS/H نوشته شده است و شباهتهای زیادی به عملیات

1- Sub Program
2-Block Diagram
3- Bauer
4- Calder
5- Borkovic
6- Bougainville

تراک و شاول یا تراک و سنگ شکن دارد در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱۳] .

مثال – شبیه‌سازی کامپیوتری آرایشگاه جو با زبان GPSS/H

در این آرایشگاه مشتری ها در فاصله زمانی ٦ –۱۸ دقیقه وارد آرایشگاه می‌شوند. برای آویزان کردن کت مشتری ها مدت زمان ۰/۵ دقیقه مورد نیاز است. اگر جو مشغول اصلاح باشد مشتری در صف منتظر می‌ماند. و هنگامیکه نوبتش رسید جو موهایش را کوتاه می‌کند. مدت زمان آرایش ۳– ۱۵ دقیقه بطول می‌انجامد. بعد از پایان آرایش مشتری آرایشگاه را ترک می‌کند.

برای شبیه‌سازی آرایشگاه، برنامه مزبور به شکل زیر نوشته می‌شود:

```
Simulate
One-line , single-service queuing model

GENERATE    18,6      زمان رسیدن مشتری ٦+۱۸
ADVANCE     0.5       مدت زمان آویزان کردن کت
QUEUE       QUE1      اگر آرایشگر مشغول بود مشتری در صف می‌ماند
SEIZE       JOE       آرایشگر آزاد می‌شود
DEPARTY     QUE1      مشتری از صف خارج می‌شود
ADVANCE     15,3      مدت زمان آرایش ۳+۱۵ دقیقه به طول می‌انجامد
RELEASE     JOE       آرایشگر آزاد می‌شود
TERMINATE   1         مشتری آرایشگاه را ترک می‌کند
START       100
END
```

نتایج خروجی برنامه به شکل زیر تنظیم می‌شود:

مدت زمانی که مشتری در صف منتظر می‌ماند(دقیقه)	۷/۳۱۰
مدت زمانیکه آرایشگر مشغول است(٪)	۹۸/۸
تعداد مشتریهای با زمان انتظار صفر	۸

همانطور که ملاحظه می‌شود برنامه نویسی بوسیله زبان GPSS/H بسیار راحت می‌باشد. در ضمن براحتی می‌توان مثال آرایشگاه جو را در موارد متعددی در معدن تعمیم داد و عملیات مزبور را شبیه‌سازی کرد.

٤-۱-۲-۲- زبان شبیه‌سازی SLAM

زبان شبیه‌سازی SLAM یک زبان سطح بالا و مبتنی بر فرترن می‌باشد که از روش زمان بندی پیشامدها یا پردازش فرایندها و یا ترکیبی از این دو استفاده می‌کند[۳] . نسخه جدید آن به نام SLAM II می‌باشد. این نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی مدلهای شبکه ای [1]، سیستمهای پیوسته و گسسته ویا ترکیبی از آنها می‌باشد[۳]. از زبان SLAM بیشتر در شبیه‌سازی مدار تولید کارخانه ها استفاده می‌شود.

در سال ۱۹٦۸ دوو[2] و گریفین[3] از زبان SLAMII در طراحی آزمایش و شبیه‌سازی عملیات معدنکاری استفاده کردند.

٤-۱-۲-۳- زبان شبیه‌سازیGASP

زبان GASP یک زبان مبتنی بر فرترن می‌باشد که از گرایش زمانبندی پیشامدها برای شبیه‌سازی سیستم استفاده می‌کند. این زبان دارای نسخه های نسبتا متفاوت GASPIIو GASPIII می‌باشد.

---

[1]- Network Models

[2]_ Doe

[3] -Grifin

زبان شبیه سازی GASP II فقط مخصوص شبیه‌سازی سیستمهای گسسته می‌باشد اما GASP III قادر به شبیه‌سازی سیستمهای گسسته و پیوسته می‌باشد [۱] .

٤-۱-۲-٤- زبان شبیه‌سازی SIMSCRIPT

یک زبان سطح بالای برنامه نویسی برای ایجاد مدل شبیه‌سازی گسسته طراحی شده است . این زبان از روشهای زمانبندی پیشامدها و پردازش فرایندها برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند [۳] .

٤-۱-۳- خلاصه و مقایسه زبانهای شبیه‌سازی

به هنگام تصمیم‌گیری در این مورد که کدام زبان در مورد پروژه خاصی بکار گرفته شود ضوابط متعددی وجود دارد برخی از این ضوابط در جدول ٤-۱ که پنج زبان مورد بحث در این فصل را مقایسه کرده، مشاهده می‌گردد.

به هر صورت، اگر شبیه‌ساز با زبانی از قبل آشنایی دارد و زبان مزبور از عهده مدل کردن سیستم مورد نظر بر می‌آید، همین آشنایی شاید بتواند ضابطه کنار زننده بقیه زبانها باشد [۵] .

٤-۲- نرم‌افزار های انیمیشن‌ساز

اینگونه نرم‌افزارها قابلیت نمایش سیستم شبیه‌سازی شده و نتایج آنرا بصورت متحرک روی صفحه کامپیوتر فراهم می‌سازد. نمایش متحرک مدل روی صفحه نمایش کامپیوتر در فهم سیستم تاثیربسزایی دارد و وسیله‌ای مناسب برای شرح مدل به مدیران و افراد غیر متخصص می‌باشد. هر گونه اشتباهی که در برنامه اصلی رخ دهد بر روی صفحه نمایش کامپیوتر مشاهده می‌شود و می‌توان آنرا براحتی تصحیح کرد. بعبارت دیگر نمایش گرافیکی سیستم از بروز هرگونه خطا در منطق برنامه که کامپایلر نادیده می‌گیرد جلوگیری می‌کند. از مزایای دیگر آن نمایش آمارهایی از قبیل تعداد تراکنهای موجود در هر صف، متوسط زمان انتظار در هر صف ونظایر اینها می‌باشد [١٤].

جدول- ٤-١ - مقایسه زبانهای مرسوم شبیه‌سازی کامپیوتری[۳]

زبان شبیه سازی / معیار ارزیابی	زبانهای عمومی	GASP	GPSS	SLAM	SIMSCRIPTS II
سهولت فراگیری	خوب	خوب	عالی	عالی	خوب
طریق مدل‌سازی تشریح وقایع	خیر	بله	بله	خیر	بله
تشریح فرایند	خیر	خیر	بله	بله	بله
توابع داخلی تولید اعداد تصادفی	خیر	بله	خیر*	بله	بله
توان گردآوری آمار	ضعیف	عالی	عالی	عالی	عالی
خطا یابی	متوسط	خوب	متوسط	خوب	عالی
مدت اجرا روی کامپیوتر	عالی	خوب	ضعیف	خوب	خوب
سهولت ایجاد مدل	ضعیف	خوب	عالی	عالی	خوب
هزینه	پایین	پایین	پایین	متوسط	بالا

نرم‌افزارهای ARENA، AUTOMOD، PROOF، SLAMSYSTEM جزو نرم‌افزارهای انیمیشن‌ساز می‌باشند. توضیح کوتاهی در مورد این نرم‌افزارها در ذیل آورده شده است.

٤-٢-١- نرم‌افزار ARENA

این نرم‌افزار نسخه جدیدی از زبان SIMAN می باشد که در سال ۱۹۹۳ تهیه شد. این نرم‌افزار یک انیمیشن‌ساز می‌باشد و استفاده از آن بسیار راحت است. هنگامیکه سیستم را با این نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌کنیم برنامه به طور خودکار به کدهای زبان SIMAN تبدیل می‌شود. در سال ۱۹۹۵ نسخه

---

*مشکل مزبور در نسخه GPSS/H رفع شده است.

جدید آن به نام ARENA 2 معرفی شد که با ویندوز ۹۵سازگار بوده و قادر به خواندن فایلهای DXF از نرم‌افزار CAD می‌باشد. اولین بار از ARENA برای شبیه‌سازی سیستم حمل و نقل معدن منگنز در شمال استرالیا استفاده شد [١٤].

٤-٢-٢- نرم‌افزار AUTOMOD

AUTOMOD یک نرم‌افزار انیمیشن‌ساز سه بعدی می‌باشد. این نرم‌افزار بطور اتوماتیک گزارشهایی از نتایج تهیه می‌کند. این نرم‌افزار تقریبا روی تمام سیستمهای DOS و UNIX قابل اجرا است. از آن می‌توان برای شبیه‌سازی مثالهایی که نهادهای گذرنده (مانند تراک) در سراسر سیستم حرکت می‌کنند استفاده کرد [١٤].

٤-٢-٣- نرم‌افزار PROOF

این نرم‌افزار نسخه جدیدی از زبان GPSS/Hمی‌باشد. براحتی قابلیت انیمیشن‌سازی فایل برنامه GPSS/H را دارد و فایل DXF اتوکد را می‌خواند. این نرم‌افزار دارای ساختار ساده ا ی می‌باشد و یادگیری آن نیز آسان است [١٤].

٤-٢-٤- نرم‌افزار SLAM SYSTEM

این نرم‌افزار نسخه جدیدی از زبان SLAM می‌باشد که توسط پریتسکر[1] تهیه شده است. . برنامه تحت ویندوز است و نقاط مشابه زیادی با ARENA دارد. استفاده از این نرم‌افزار بسیار آسان است [١٤].

زبانها و نرم‌افزارهای ویژه شبیه‌سازی، نتایج آماری وگرافیکی مطلوبی را گزارش می‌دهند. از اینرو می‌توان تصویر روشنی از سیستم برای توضیح به مدیران، سرمایه گذاران وافراد غیر متخصص ارایه

[1]- Pritsker

داد. در فصل بعد با توجه به اهمیت طرحهای معدنی بکارگیری این روش در معدن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل پنجم

کاربردهای شبیه‌سازی کامپیوتری در معدن

امروزه با رشد روز افزون کامپیوتر و گسترش زبانهای ویـژه شبیه‌سـازی، ایـن روش بـه ابـزاری پرقدرت در طراحی، آنالیز و کنترل سیستمهای پیچیده تبدیل شده است.

شبیه‌سـازی کـامپیوتری از سـال ۱۹۶۱ تـاکنون بطـور چشـمگیر و موفقیـت آمـیزی در مطالعـه عملیاتهای مختلف معدنی استفاده شده است. لذا با بکـارگیـری ایـن روش می‌تـوان عملیاتـهای پیچیـده معدنی را با صرف هزینه کم درمدت زمان کوتـاهی مـورد تجزیـه وتحلیـل قـرارداد. درنتیجـه طرحـهای پیشنهادی را می توا ن بصورت کامپیوتری اجرا کرد و نتایج آنها را برای انتخـاب طـرح مناسـب بـا هـم مقایسه کرد. از اینرو، شبیه‌سازی کامپیوتری از کارآمدترین و پیشرفته ترین ابـزار بـرای تصمیـم گیـری می‌باشد. لذا صاحبان ومدیران معادن می‌تواننـد از ایـن روش در ارائـه راه‌هـا و روشـهای بهینـه جـهت استفاده موثر از منابع و کم کردن مقدار هزینه و بطور خلاصه افزایش بهره وری در مقـدار تولیـد اسـتفاده کنند. از اینرو، شبیه‌سازی کامپیوتری ابزاری مناسـب بـرای رقـابت شـرکت هـا بـا یکدیـگر محسـوب می‌گردد.

قدمت استفاده از روش شبیه‌سازی کامپیوتری در تجزیه و تحلیل مسائل معدنـی بـه سـال ۱۹۶۱ برمی گردد. در این سال برای اولین بار کارسـتن [1] و ریسـت [2] از ایـن روش بـرای شبیه‌سـازی کـامپیوتری سیستم حمل و نقل معدن زیرزمینی ملیبدونیوم کلیماکس کرادو [3] استفاده کردند [۱۲].

---

[1]- Karsten

[2]- Rist

[3]- Climax Co.

پس از مقبولیت وگسترش آن درشبیه‌سازی عملیاتهای پیچیده معدنی، ایـن روش مـوارد اسـتفاده متعددی را در معدن پیدا کرد. برای مثال از روش مزبور در شبیه‌سـازی سیسـتمهای حمـل ونقـل معـادن (روبـازوزیرزمینی)، مطالعـه وارزیـابی، بکـارگیـری سیسـتم دیسـپچینگ درمعـدن، شبیه‌سـازی کارخانـه کانه‌آرایی، تعیین وسایل معدنی و عملیاتهای حفاری و آتشباری و غیره در معدن استفاده می‌شود.

۵-۱- بکارگیری شبیه‌سازی کامپیوتری در سیستم حمل و نقل

بارگیری وحمل مواد در معادن سطحی و زیر زمینی، عامل بسیار مهمی درمقدار تولید می‌باشـد. از اینرو تعیین حجم بهینـه نـاوگان حمـل و نقـل و اسـتفاده بهینـه از آنـها تـاثیر چشـمگیری در کـاهش هزینه‌های سرمایه گذاری و عملیاتی و افزایش مقدار تولید خواهند داشت.

معمولا این روش برای بهینه‌سازی سیستمهای بارگیری و حمل مـانند تـراک و شـاول در معـادن سطحی، ترنها، LHD ها شاتل کارها درطبقات معادن زیر زمینی استفاده می‌شود.

۵-۱-۱ -تعیین حجم بهینه ناوگان بارگیری و حمل در معادن روباز

برای تعیین میزان تولید واقعی یک ناوگان حمل و نقل، شبیه‌سـازی کـامپیوتری روشـی مناسـب می‌باشد این روش مبتنی بر انتخاب تصادفی مقادیر زمانهای بارگیـری، بـاربری وغـیره اسـت و از توابـع توزیع آنها تبعیت می‌نماید. تکرار فرایند برای پستهای کاری زیاد، مقـادیر متوسـط بـرای عملیـات تحـت مطالعه را بدست می‌دهد.

برای تعیین حجم بهینه ناوگان بـاید تعـداد و حجـم ماشـین آلات بـارگیـری وحمـل و ظرفیـت سنگ شکن با یکدیگر بالانس باشند. شـایان ذکراسـت در بهینه‌سازی سیسـتم مزبـور تمـامی بخشـهای عملیاتی معدن با هم در مدل دیده می‌شوند. همانطور که در شکل ۵-۱ دیده می‌شود بخشـهای عمنیـات مزبور شامل قسمتهای زیر می‌باشد[۱۶].

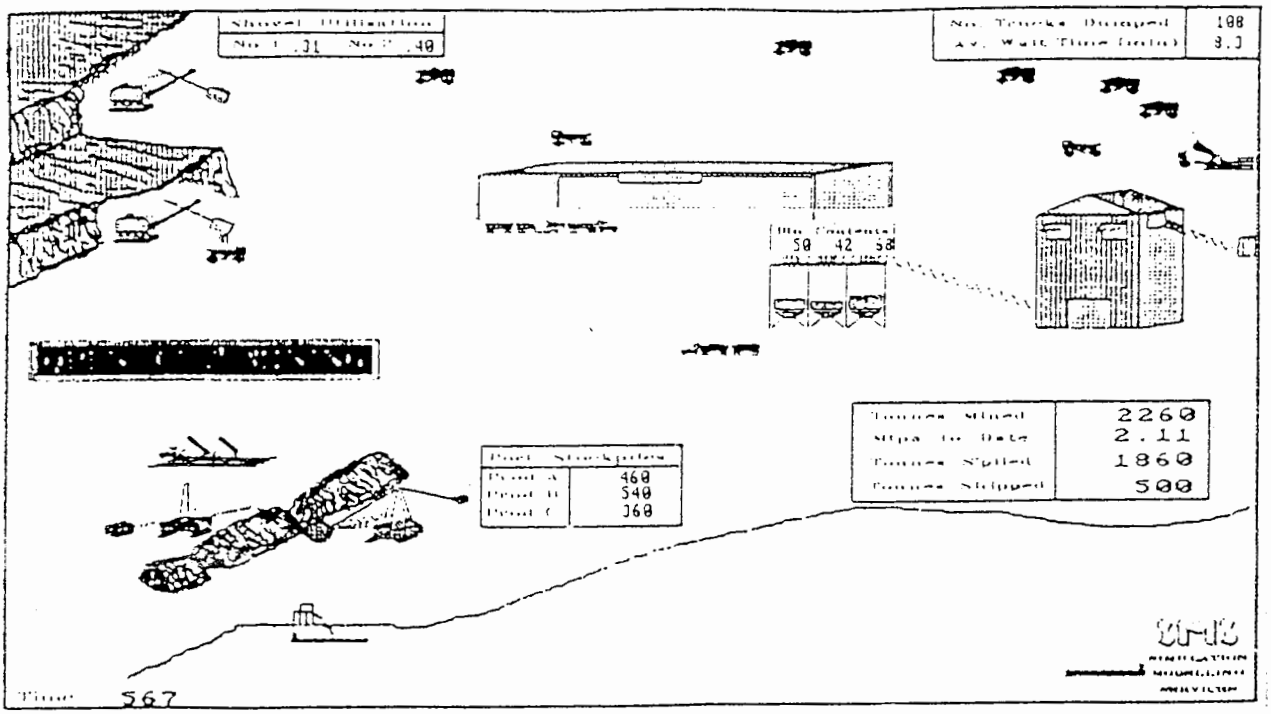
۱- عملیاتهای استخراجی

۲- نقشه جاده های حمل مواد

۳- عملیات انباشت مواد

۴- عملیات مخلوط کردن مواد

۵- عملیات توزیع ماشین آلات



شکل ۵-۱- نمای ساده عملیاتهای مختلف در معادن روباز [۱۶]

بطور کلی سیستمهای حمل‌ونقل در معادن روباز بدین شکل می‌باشند، در ابتدا برای شروع عملیات بارگیری تراکها بسوی شاول گسیل می‌گردند. زمان انتظار بارگیری برای تراک اول صفر می‌باشد مگر اینکه سطح زمین توسط بولدوزر در حال تمیز شدن باشد. شاول تراک را بارگیری می‌کند، وپس از پایان بارگیری، تراک برحسب نوع مواد بارگیری شده به سمت مقصد مشخصی گسیل شود.تراکها پس از تخلیه مواد به سمت شاولها باز می‌گردند. زمانیکه تراک به نزدیک شاول می‌رسد و در صورتیکه تراکهای دیگری درصف بارگیری باشند، تراک در صف منتظر می‌ماند. در غیر اینصورت فورا بارگیری تراک شروع می‌شود. عملیات بارگیری وحمل بصورت پیوسته انجام می‌گردد، مگر اینکه بدلیل تاخیرهای موجود توقفی ایجاد گردد[۱۷].

برای شبیه‌سازی عملیات سیستم حمل و نقل در معادن بایستی عوامل موثر در میزان تولید سیستم بارگیری، عوامل متعدد موثر در مقدار تولید تراک و عوامل ثانویه موثر در تولید شاول وتراک را شناسایی نمود و در دسترس مدل قرار داد. بطور کلی عوامل موثر در میزان تولید سیستم بارگیری عبارتند از زمان سیکل کاری شاول، فاکتور پرشوندگی زمان استقرار تراک در پای شاول، توزیع مناسب تراک و تاخیرهای موجود در سیستم بارگیری می‌باشند [۱۵].

عوامل متعدد موثر در مقدار تولید تراک عبارتند از: ظرفیت نسبی تراک و شاول، ظرفیت بخشهای سنگ شکنی و انباشت، وضعیت حفاری و آتشباری، طول مسیر حمل و شیب مسیر، مقاومت غلطشی، مهارت کاربر، شرایط جوی، طرح جاده ها، نگه داری جاده، برنامه زمانی، تعمیر و سرویس تراکها، عمر تراک وسرپرستی. عوامل ثانویه موثر در تولید تراک و شاول عبارتند از: تاخیرهای ماشین‌آلات در محلهای سنگ شکن و تخلیه، مدت زمان تعویض شیفت، علایم راهنمایی موثر در جهت بارگردن کامیون، سیستم توزیع کامیونها.

با شناسایی و جمع آوری اطلاعات مزبور و تاثیر آن در مدل با استفاده از سیستم توزیع کامپیوتری می‌توان به منظور بهینه کردن تولید بین ماشین های بارگیری و حمل و سنگ شکن توازن برقرار کرد.

در نتیجه با بهینه‌سازی بخشهای موثر در تولید می‌توان مقدار تولید معدن را در اثر تغییر پارامترهای مؤثر در مرحله طراحی مورد مطالعه قرار داد. در نتیجه با بهینه‌سازی بخش های مؤثر در تولید می‌توان مقدار تولید معدن را به مقدار تئوری آن نزدیک کرد[۱۶]. بطورکلی در شبیه‌سازی سیستم حمل و نقل در مرحله طراحی باید به پرسشهایی نظیر موارد زیر پاسخ داد [۱۸و۹].

۱. مقدار اعتبار مدل شبیه‌سازی شده چقدر است؟

۲. نتایج مدل شبیه‌سازی شده چقدر با واقعیت منطبق است؟

۳. اختلاف تولید بین ناوگان تراکهای بزرگ و کوچک چقدر می‌باشد؟ اختلاف تولید برای شاولهای با ظرفیتهای مختلف چقدرمی‌باشد؟ و نیز اختلاف تولید برای سنگ شکنهای با ظرفیتهای مختلف چقدر است؟

٤. سود حاصل از کاهش یک دقیقه در زمان حمل چقدر است؟

٥. آیا استفاده از دو محل تخلیه به صرفه است؟

٦. آیا تراکها باید به شاولهای مشخص مختص شوند یا اینکه آزاد باشند تا به سوی هر شاول گسیل شوند؟

٧. مقدارافزایش تولید به ازای افزایش تعداد تراکها و شاولها چقدر می‌باشد؟

٨. در صورتیکه یک سینه کار جدید در معدن باز شود چه تعداد تراک جدید باید خریداری گردد؟ و چه تعداد شاول؟

٩. چه زمان باید تراک و یا شاول جدید خریداری گردد؟

١٠. تعویض تراکهای قدیمی چه زمانی باید صورت گیرد؟

از اینرو شبیه‌سازی کامپیوتری به طور مطلوبی برای آنالیز حساسیت و مشاهده اثر تعویض در سیستم کاربرد دارد. در نتیجه با پاسخ به سؤالهای مزبور و ارزیابی طرح های مختلف می‌توان طرح بهینه را انتخاب و اجرا کرد.

۵-۱-۱-۱- مطالعه موردی کاربرد شبیه‌سازی کامپیوتری در معدن آهن داک[1]

معادن آهن بی اچ پی[2] در نواحی میدل بک[3] در جنوب استرالیا قرار دارد و از قدیمی ترین معادن آهن استرالیا است. پس از پایان استخراج آهن از معدن بارون[4]، بهره برداری از معدن آهن داک[5] شروع خواهد شد. معدن داک به سه ناحیه شمالی، مرکزی و جنوبی تقسیم شده است که در هر ناحیه تعدادی سینه کار وجود دارد. در شکل ۵-۲ نمای ساده ای از این معدن مشاهده می‌شود.

---

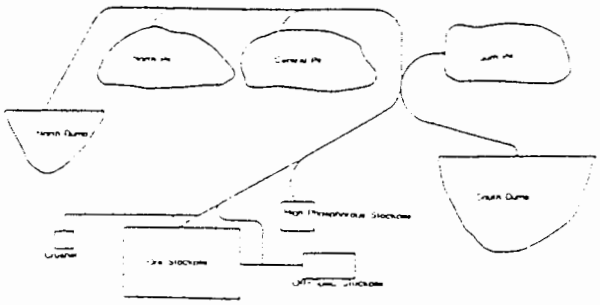
[1]-مطالب این بحث از منبع [۱۷] اقتباس شده است.

[2]- BHP

[3]- Middle back

[4]- Baron

5-Duke



شکل ٥-٢ نمایی ساده از معدن آهن داک [١٧]

با توجه به تعدد سینه کارهای استخراجی و محلهای تخلیه برای رسیدن به ظرفیت تئوری تولید بایستی تعداد وسایل بارگیری و حمل و نقل را تعیین کرد. به منظور تعیین تعداد و حجم ماشین آلات بارگیری و حمل در معدن داک بخشی از عملیات به زبان شبیه‌سازی **GPSS** نوشته شده است. برای بارگیری و حمل مواد کانی و باطله استفاده از لودرهای با تخلیه از جلو و تراکهای با تخلیه از پشت پیشنهاد شده است. تراکها مواد استخراجی را به محل استوک پایل[1] حمل می‌کنند. در این محل مواد با یکدیگر مخلوط می‌شود و سپس به سنگ شکن منتقل می‌شوند. تراکها، باطله ها را به محلهای تخلیه شمالی وجنوبی حمل می‌کنند.

برای شبیه‌سازی عملیات حمل و نقل،٣١ شیفت در کاواک شمالی، ١٥ شیفت در کاواک مرکزی و ٤ شیفت در کاواک جنوبی شبیه‌سازی شده است. یک سیکل شامل ٥٠ شیفت می‌باشد. در یک سال ٥٥٠ شیفت انجام می‌شود و تعداد اجرای مدل شبیه‌سازی شده ١١ سیکل می‌باشد.

برای ساخت مدل مقدار در صد کانه استخراج هر کاواک مشخص شد. زمانهای رفت و برگشت تراکها به مقصدها نیز اندازه گیری شد. برای مثال زمان های حمل تراک از کاواک شمالی به استوک پایل ٤ دقیقه، به محل تخلیه شمالی ٣ دقیقه و به استوک پایل حاوی فسفر بالا ٣/٥ دقیقه می‌باشد. مقادیر کانه و باطله معدنکاری و حمل شده برای یک تراک ٦٥ تنی ثبت شده است. موارد مزبور توسط تربعی در دسترس مدل قرار می‌گیرند.

گزارش خروجی های **GPSS** عبارتند از:

- مقدار درصد استفاده شده از هر لودر در هر کاواک
- تعداد تراکهای بارگیری شده در هر کاواک
- متوسط زمان بارگیری هر تراک
- تعداد تراکهایی که در صف بارگیری قرار می‌گیرند
- تعداد تراکهایی که در صف انتظار بارگیری نمی‌مانند
- بیشترین تعداد تراک در هر صف
- متوسط تعداد تراک در صف
- متوسط زمان انتظار تراک در صف

گزارش عملیات سیستم حمل ونقل شبیه‌سازی شده در این معدن شامل موارد ذیل می‌باشد:

- کل کانه منتقل شده به استوک پایل
- کل باطله منتقل شده به محل تخلیه شمالی
- کل باطله منتقل شده به محل تخلیه جنوبی
- کل کانه منتقل شده به استوک پایل ویژه[۲]
- کل کانه منتقل شده از استوک پایل به سنگ شکن
- مجموع تاخیر های عملیاتی
- مجموع زمانهای تلف شده برای صرف چای صبحانه و ... .
- مجموع زمانهای تلف شده برای تعویض شیفت
- مجموع زمانهای تلف شده برای تعطیلی شیفت سوم
- مجموع زمانهای تلف شده برای آخر هفته

[1] _ Stock pile

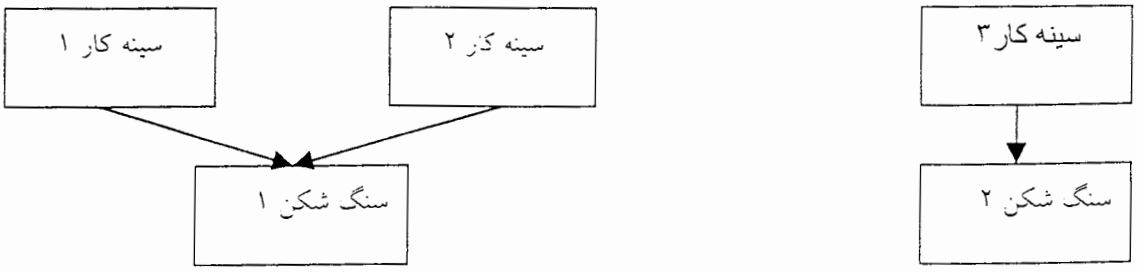
[2] _ Off specification stock pile

هدف از شبیه‌سازی فوق تعیین تعداد لودر و تراک لازم جهت دستیابی به راندمان مورد نیاز معدن می‌باشد. از اینرو پس از شبیه‌سازی عملیات معدنی مشاهده شد، مجموع کانه منتقل شده به استوک پایل تاثیر زیادی در مقدار راندمان معدن دارد. بطوریکه با دستیابی به ترکیب مناسب لودر و تراک به راندمان تئوری نزدیک خواهیم شد. و نیز مقدار کانه منتقل شده از استوک پایل به سنگ شکن نقش مهمی در راندمان معدن دارد. مقدار زمانهای تلف شده در عملیات در مقدار راندمان معدن تاثیر دارد که با برطرف کردن این تاخیر ها می‌توان مقدار راندمان معدن را افزایش داد.

در آخر شایان ذکر است. مدلی که در اینجا بیان شد فقط در طول دو هفته ساخته شده است. که نشانگر سادگی و سریع بودن بکارگیری زبان GPSS برای شبیه‌سازی عملیاتهای معدنی می‌باشد.

۵-۱-۲- شبیه‌سازی سیستم حمل و نقل آهک درکارخانجات سیمان صوفیان[1]

کارخانه سیمان صوفیان در ۳۳ کیلو متری جاده تبریز مرند قرار دارد. ظرفیت تولید کارخانه ٤٦۰۰ تن در روز می‌باشد، که با افزودن ۰/٤ سنگ‌گچ به کلینکر بالغ بر ٤٧٨٤ تن در روز می‌باشد . با در نظرگرفتن ظرفیتهای تولید روزانه کوره ها و روزهای کارکرد در سال، ظرفیت تولید کلینکر کارخانه در سال ۱/٤۳ میلیون تن و ظرفیت اسمی تولید سیمان ۱/٤۹ میلیون تن در سال می‌باشد. ظرفیت اسمی تولید سالانه معدن ۲/۸ میلیون تن سنگ آهک در سال می‌باشد. در شکل ۵-۳ سینه کارها و سنگ شکنهای معدن و مسیر ارتباطی آنها با هم مشاهده می‌شود.



شکل ۵-۳- نمایی ساده از سینه کارها وسنگ شکنها در معدن آهک صوفیان [۱۵]

[1] _مطالب این بخش از منبع [۱۵] اقتباس شده است.

هدف از این مطالعه مقایسه تاثیر توزیع کامیونها بـه روش سـنتی و کـامپیوتری در مـیزان تولیـد معدن می‌باشد. در حال حاضر معدن در دو شیفت هشت ساعته کار می‌کند. در هر شـیفت کامیونـها بـه روش سنتی بنابر شرایط سینه کارها (از نظر عیار) وسنگ شـکنها و تجـهیزات معـدن بیـن سـینه کارهـا ومسیرها توزیع می‌شود.

با توجه به شرایط معدن سیمان صوفیان، به‌علت وجود پارامترهای مختلف از جمله وجود سـینه کارهای مختلف، سنگ شکنهای با ظرفیت‌های متفاوت، وجود انواع مختلف باربر و بارکننده برای تعییـن تعداد کامیون مناسب، مدلهای معمـول مـانند: برنامـه ریـزی خطـی، تئـوری صـف و غـیره نمـی توانـد پاسخگوی نیاز ما در این معدن باشند زیرا:

۱. محدودیت تولید در این مدلها وارد نشده است.
۲. جواب بدست آمده در روشهای معمول یک مقدار صحیح نیست زیـرا یـک دلیـل قـاطع ریـاضی وجود ندارد که گردکردن به عدد صحیح نزدیک در جهت افزایش تولید یا کاهش هزینه باشد.
۳. با وجود انواع مختلف کامیونها و بارکننده ها، این مدلها توانایی پاسـخگویی بـه ایـن تغییـرات را ندارند و یا اگر داشته باشند بسیار پیچیده و مشکل خواهد بود.
۴. در این مدلها تاثیر کارکرد سنگ شکن در نظر گرفته نشده است.

با توجه به مشکلات موجود سیستم بارگیری و حمل، یک مدل مناسب که بتواند تمام پارامترهـا را در نظربگیرد و احتیاج به محاسبات پیچیده وتجزیه وتحلیل مفصل نداشته باشد،مورد نیاز است.

جهت شبیه‌سازی عملیات حمل و نقل در معدن آهک سیمان صوفیان دو برنامـه کـامپیوتری بـه نامهای HRS[1], SHS تهیه شده است. برنامه HRS با دریافت مشخصات کامیونها و جاده های دسترسی، زمان رفت و برگشت کامیونها را محاسبه می‌نماید. برنامه SHS ابتـدا تعـداد حـالاتی کـه ایـن کامیونـها می‌توانند بین مسیرها توزیع شوند را بدست آورده و برای هر حـالت برنامـه را اجـرا می‌کنـد. در آخـر برنامه با توجه به حداقل تولید مورد نیاز معدن توزیعی که دارای کمترین هزینه باشد را پیشنهاد می‌کند.

[1]- Haul Road Simulation

در روش دستی کاربر کامیونها را به مسیرهای مورد نظر اختصاص می‌دهد و بعد از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز برنامه عملکرد سیستم را (با توجه به شرایط اعلام شده از طرف کاربر) گزارش می‌دهد. در این روش برنامه کلیه پارامترهای مورد نیاز بررسی عملکرد سیستم،مانند کارایی کامیونها و شاولها و سنگ شکنها و همچنین مقدار تولید و هزینه حمل هر تن ماده را محاسبه می‌کند و در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این برنامه قادر است ۱۸ کامیون مختلف را با ظرفیت متوسط بین ۱۵ تا ۱۲۰ تن در نظر بگیرد.

از آنجاییکه در این معدن تمام سینه کارها و سنگ شکن ها به هم مرتبط هستند، با روشهای معمول نمی توان عملکرد سیستم را بررسی کرد، ولی با کمک این برنامه با تخصیص کامیونها به مسیرهای متفاوت می‌توان عملکرد سیستم را بررسی نمود و برای بهینه کردن آن اقدام کرد. به کمک این برنامه علاوه بر آنکه می‌توان تعداد بهینه کامیونها را انتخاب نمود بلکه می‌توان عملکرد سیستم را در اثر تغییر هر یک از این پارامترها (مانند: زمان بارگیری، زمان رفت و برگشت و...) یا ایجاد سینه‌کارهای جدید و سایر موارد بررسی نمود.

جدول ۵-۱ مقایسه دو روش دستی و کامپیوتری برای توزیع کامیونها [۱۵]

روش کار	تعداد بارکننده	تعداد کامیون	تولید(تن)	هزینه(ریال)
دستی	۳	۷	۵۷۸۷	۲۴۰۸۰۰۰۰
کامپیوتری	۳	۶	۵۷۸۸	۲۲۰۸۰۰۰۰

مقایسه دو روش دستی و کامپیوتری برای توزیع کامیونها در معدن آهک سیمان صوفیان در جدول ۵-۱ نشان داده شده است. کاربرد روش شبیه‌سازی‌کامپیوتری در شرایط مورد بررسی باعث صرفه‌جویی هزینه‌های عملیاتی به میزان ۸/۳ درصد می‌شود که در سال بالغ بر ۱/۲ میلیارد ریال می‌گردد.

۵-۱-۲- کاربرد شبیه‌سازی کامپیوتری برای ارزیابی سیستم دیسپچینگ در معادن

عملیات بارگیری و حمل مواد در معادن سطحی عامل مهمی در مقدار تولید محسوب می‌شود. در عملیات بارگیری و حمل به حداقل رساندن مدت زمان انتظار تراکها تاثیر چشمگیری در افزایش تولید معدن دارد. در نتیجه با بکارگیری وسایل مناسب، مدت زمان انتظار تراک و شاول را می‌توان حداقل کرد. به طور معمول، تراکها در انتظار شاول برای بارگیری می‌مانند [۱۹] .

هدف اصلی استفاده از دیسپچینگ در معادن به حداکثر رساندن مقدار تولید می‌باشد . هدف مذکور با استفاده حداکثر از مدت زمان کاری تراکها و شاولها بدست می‌آید. در این بخش سیستم دیسپچینگ بر اساس حداقل کردن مدت زمان انتظار (یا طول صف) تراکها در صف بارگیری مورد بررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب هنگامیکه زمان تلف شده در صف کاهش یابد، مدت زمان بکارگیری تراکها افزایش می‌یابد و در نتیجه، تولید سیستم بدون در نظر گرفتن فاکتورهای دیگر افزایش می‌یابد. مرکز کنترل در مدل زمان رسیدن تراک به هر شاول و مدت زمان بارگیری آنرا محاسبه می‌کند، با مقایسه نتایج مذکور، مرکز کنترل، تراک را به سمت شاولی گسیل می‌دارد که تراکهای کمتری در صف می‌باشند [۱۹] .

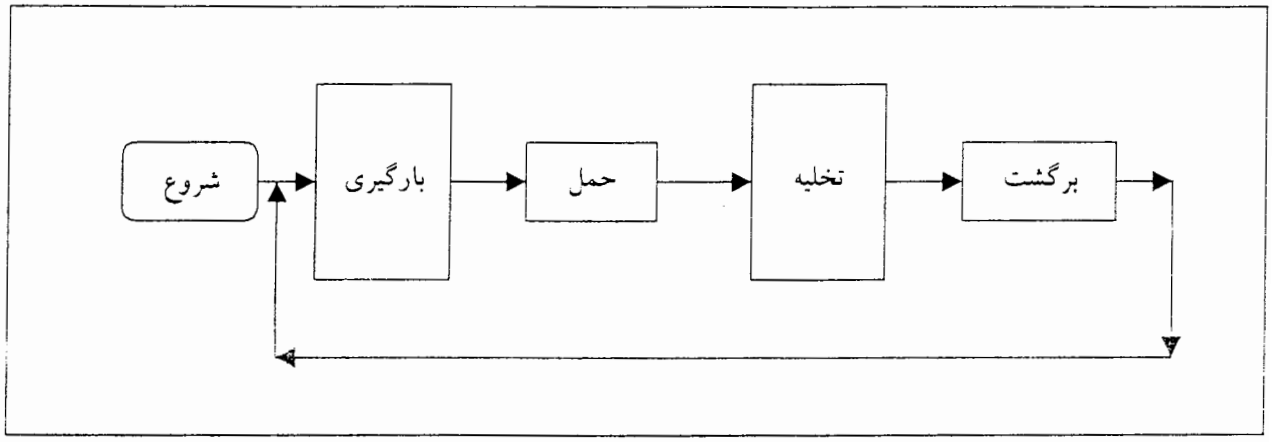
برای مطالعه بکارگیری سیستم دیسپچینگ، اطلاعات مربوط به عملیات بارگیری و حمل مثل محلهای بارگیری، زمانهای حمل و بارگیری و تخلیه تراکها برای هر بخش باید مشخص باشد در ضمن زمانهای رسیدن تراک به مرکز کنترل، زمانهای قرارگیری در صف، مدت زمان انتظار در صف، زمان قرارگیری در کنار شاول، مدت زمان بارگیری برای هر تراک باید بخوبی برآورد شود. بعلت احتمالی بودن متغیرهای مزبور، توزیع آماری آنها در اختیار مدل قرار خواهد گرفت[۱۹] .

۵-۱-۲-۱- مطالعه موردی مقایسه عملیات تراک و شاول با استفاده از سیستم دیسپچینگ و بدون آن[1]

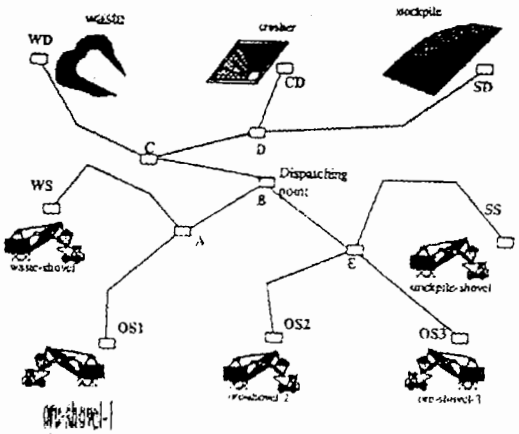
[1] ـ مطالب این بخش از منبع [۱۹] اقتباس شده است.

در این مقاله نقش سیستم دیسپچینگ و مطالعات شبیه‌سازی در مقدار تولید معدن نشان داده خواهد شد.

با استفاده مناسب از نرم‌افزار **ARENA** طرح ساده ای از سیستم معدن ساخته می‌شود که در تعیین وضعیت وسایل (شاول و محل تخلیه) و فواصل (مسیرها) تاثیر شایانی دارد در شکل ۵-٤ سیکل ساده ای از سیستم تراک و شاول مشاهده می‌شود.



شکل ۵-٤ مدل ساده سیستم تراک و شاول[۱۹]



شکل ۵-۵- طرح سیستم حمل و نقل[۱۹]

شکل ۵-۵ طرحی از سیستم حمل و نقل را نشان می‌دهد که شامل پنج شاول در سینه کارهای معدن و سه محل تخلیه مواد معدنی می‌باشد. شاول WS برای بارگیری باطله، سه شاول (OS3،OS2،OS1) برای بارگیری مواد معدنی با عیار بالا، و شاول SS برای بارگیری مواد معدنی با عیار پایین در نظر گرفته شده است..

همانطور که در شکل ۵-۵ مشاهده می‌گردد، مواد باطله به محل تخلیه باطله (WD) حمل می‌شوند. مواد معدنی با عیار بالا به داخل سنگ شکن (CD) تخلیه می‌شوند، و مواد معدنی با عیار پایین به استوک پایل (SD) حمل می‌شوند. شبیه‌سازی مناسب چنین سیستمی بستگی به برآوردهای دقیق زمانهای حمل، بارگیری و تخلیه تراکها در هر بخش دارد. برای مثال، برحسب برآوردهای انجام شده مشخص شد که زمانهای تخلیه دارای توزیع نمایی با میانگین ۳۰ ثانیه برای مواد باطله و ٤٠ ثانیه برای مواد معدنی می‌باشد.

۵-۱-۲-۱-۱- مدلسازی عملیات حمل و نقل بدون استفاده از سیستم دیسپچینگ

در سیستم عملیاتی بدون دیسپچینگ (توزیع دستی تراکها)، هر تراک به یک شاول معین اختصاص می‌یابد. برای مثال، معدنی با پنج شاول مانند پنج معدن (هر معدن با یک شاول) با یک محل تخلیه می‌باشد. بنابراین، بهینه کردن این سیستم شامل بهینه کردن عملیات هر یک از شاولها می‌باشد. سیستم تراک و شاول مذکور با انجام دو مرحله زیر بهینه می‌شود.

۱- بهینه‌سازی اجزاء سیستم بطور مجزا [1]

۲- بهینه‌سازی کل سیستم به‌عنوان یک مجموعه [2]

در مرحله اول، هدف بهینه کردن حجم ناوگان یک شاول در یک زمان می‌باشد. در مرحله دوم باید تمام ترکیبهای اجزاء سیستم به‌عنوان یک مجموعه بهینه شود.

بهینه‌سازی اجزاء سیستم بصورت زیر انجام می‌گیرد:

---

[1] _ Sub Optimisation

[2] _ System Optimisation

۱- تعداد تراکهای بارگیری شده توسط اولین شاول بین سه تا نه تراک متفاوت است . تراکهای باقیمانده توسط شاولهای دیگر بارگیری می‌شوند. حجم بهینه ناوگان برای شاول اول، با شبیه‌سازی ٤٠ ساعت کاری برآورد شده است.

۲- حجم بهینه ناوگان برای شاول دوم همانند مرحله اول برآورد می‌شود. شایان ذکر است در این مرحله باید حجم بهینه ناوگان مرحله اول را مد نظر داشت.

۳- حجم بهینه ناوگان برای دیگر شاولها در یک زمان همانند مراحل قبل با در نظر گرفتن نتایج آن صورت می‌گیرد.

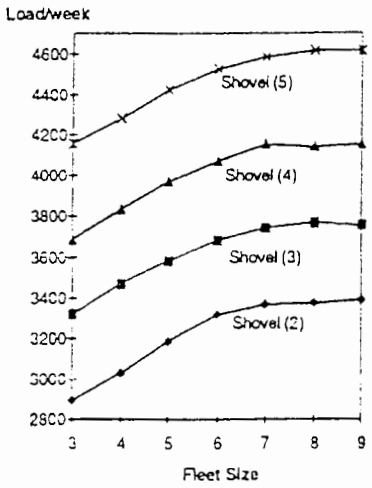
جدول ۵-۲ خلاصه ای از نتایج شبیه‌سازی شده شاول (۱) را نشان می‌دهد. نتایج مشابه برای شاولهای ۲ الی ۵ در شکل ۵-٦ نشان داده شده است. حجم ناوگان بهینه برآورد شده عبارت از: هفت تراک برای شاولهای شماره ۱ و۵ وشش یا هفت تراک برای شاولهای دیگر.

جدول ۵-۲- نتایج اجرای شبیه‌سازی برای شاول [۱۹]

حجم ناوگان تراک	شاول (۱) l/w	شاول (۲) l/w	شاول(۳) l/w	شاول(٤) l/w	شاول (۵)[2] l/w	مجموع خط تولید [1] l/w
۳	٤۵۵	٤۹۰	٤۸٦	٤۹٤	٤۵۹	۲۳۸٤
٤	۵۹۸	٤۸۷	٤۸٦	٤٦۹	٤٦۲	۲۵۲۹
۵	۷۳۸	٤۸٦	٤۹۰	٤۹۵	٤۵٤	۲٦٦۳
٦	۸۵۳	٤۸۱	٤۸٦	٤۹٤	٤۵۲	۲۷٦٦
۷	۹۷۳	٤۸۲	٤۸۵	٤۹٤	٤۵٦	۲۸۹۰
۸	۱۰۰۵	٤۷۷	٤۸۳	٤۹۱	٤۵٤	۲۹۱۰
۹	۱۰۰۷	٤۸۰	٤۸۳	٤۹٦	٤۵۳	۲۹۱۹

[1] - مقدار بارگیری تراک در هفته

[2] - فرض شده است تعداد تراکهای سرویس داده شده توسط شاولها ۳ عدد می‌باشد.



شکل ۵-٦- تولید کلی **vs** حجم ناوگان تراک برای شاول ۲ تا ۵ [۱۹]

شاولهای یک و پنج در معدن از یکدیگر مستقل می‌باشند. در نتیجه، مقادیر برآورده شده حجم ناوگان آنها مقدار بهینه می‌باشد. در صورتیکه، کل حجم ناوگان برای سه شاول باقیمانده مستقل از یکدیگر نمی باشند و با هم ارتباط داخلی دارند چون تمام تراکهایشان مواد معدنی را بداخل یک سنگ شکن تخلیه می‌کنند (یعنی صف مشترک دارند). شبیه‌سازی چنین سیستم پیچیده ای بوسیله شبیه‌سازی سه سیستم حمل و نقل ساده جایگزین می‌شود:

۱. سیستم حمل مواد باطله
۲. سیستم حمل مواد معدنی با عیار بالا
۳. سیستم حمل مواد معدنی با عیار پایین

برای بهینه کردن کل سیستم باید ترکیب های متفاوت اجزاء بهینه [1] را برای شاولهای باقیمانده (سه شاول دیگر) در نظر گرفت. برای تعیین ترکیب بهینه ناوگان هشت حالت متفاوت در نظر گرفته شده است (جدول ۵-۳).بنابراین، ترکیب بهینه ناوگان‌ها برای شاولهای گوناگون در سیستم بدون دیسپچینگ به عبارت زیر است:

شاول (۱): هفت تراک

[1] _ Sub Optimum

شاول (۲): شش تراک

شاول (۳): هفت تراک

شاول (٤): هفت تراک

شاول (٥): هفت تراک

٥-۱-۲-۱-۲- مدلسازی عملیات حمل و نقل با بکارگیری سیستم دیسپچینگ

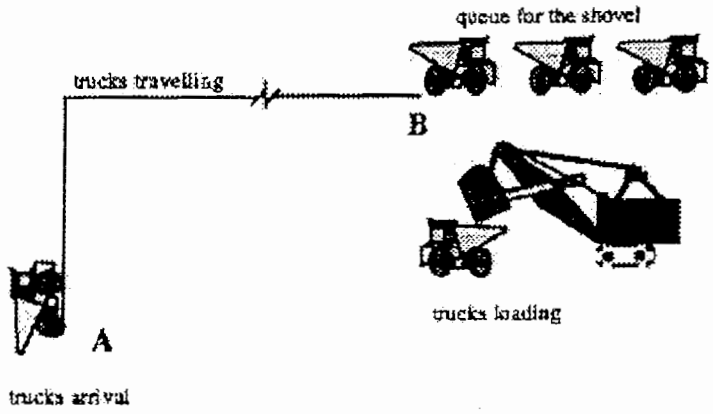
در این مطالعه از مفهوم کمترین **زمان انتظار تراک** [1] در صف برای تعیین شاول با کمترین زمان تاخیر استفاده می‌شود. فرض کنید تراکها طبق یک توزیع زمانی به نقطه **A** (شکل ٥-۷) می‌رسند. از نقطه **A** به طور میانگین ۱۰ دقیقه بعد به شاول می‌رسند. هنگامیکه تراکها به نزدیکی شاول می‌رسند، یکی از دو وضعیت زیر ممکن موجود باشد: شاول بیکار است، از اینرو بارگیری تراک بطور متوسط دو دقیقه به طول می‌انجامد، یا شاول در حال بارگیری است بدین ترتیب تراک در صف بارگیری قرار می‌گیرد.

اگر شاول در حال بارگیری نباشد، تراک معطل نمی شود و شاول آنرا بارگیری می‌کند. اما اگر شاول در حال بارگیری باشد، تراک منتظر می‌ماند تا شاول خالی شود. بعلاوه اگر تراکهای دیگری نیز در صف باشند، تراک باید در صف قرار بگیرد و منتظر بماند تا تراکهای جلویی بارگیری شوند . جدول ٥-٤ مدت زمان تاخیر [2] برای ده تراک اول را نشان می‌دهد که زمان رسیدن آنها ۰ و ٥ و ٦ و ۸ و ۹ و ۱۸ و ۲٦ و ۳۲ و ۳۳ و ٤۰ (دقیقه) می‌باشد.

---

[1] _ Expected Delay Time

[2] _ DELAY TIME



شکل ۵-۷ - نمای ساده زمان رسیدن تراکها، زمان انتظار و بارگیری توسط شاول [۱۹]

جدول ۵-۳ -نتایج شبیه‌سازی برای ترکیب های گوناگون شاولها [۱۹]

#	زمان رسیدن به محل مرکز کنترل	زمان رسیدن به محل بارگیری	زمان قرار گیری در صف	مدت زمان انتظار	زمان قرار گیری تراک زیر شاول	مدت زمان بارگیری	زمان حرکت تراک پس از بارگیری
۱	۰	۱۰	۱۰	-۱۰	۱۰	٤	۱٤
۲	۵	۱۰	۱۵	-۱	۱۵	٤	۱۹
۳	٦	۱۰	۱٦	۳	۱۹	٤	۲۳
٤	۸	۱۰	۱۸	۵	۲۳	٤	۲۷
۵	۹	۱۰	۱۹	۸	۲۷	٤	۳۱
٦	۱۸	۱۰	۲۸	۳	۳۱	٤	۳۵
۷	۲٦	۱۰	۳٦	-۱	۳٦	٤	٤۰
۸	۳۲	۱۰	٤۲	-۲	٤۲	٤	٤٦
۹	۳۳	۱۰	٤۳	۳	٤٦	٤	۵۰
۱۰	٤۰	۱۰	۵۰	۰	۵۰	٤	۵٤

هنگامیکه مدت زمان توقف صفر باشد، یعنی تراک در وضعیت بارگیری است و بارگیری تراک قبلی به پایان رسیده است. اگر مدت زمان تاخیر مثبت باشد یعنی تراک نزدیک شاول منتظر پایان بارگیری تراک جلویی می‌باشد. در صورتیکه، مدت زمان تاخیر منفی باشد یعنی شاول برای مدت زمانی در انتظار تراک می‌باشد.

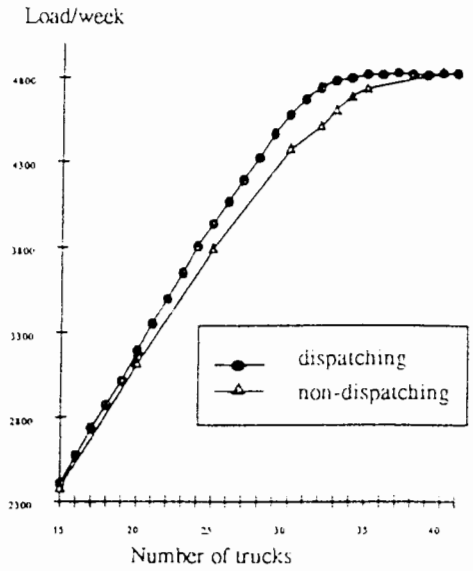
در مرکز کنترل، دیسپچر[1] زمان قرار گیری تراک درکنار شاول و تاخیر های ممکن هر تراک نسبت به هر یک از شاولها را تعیین می‌کند. با مقایسه نتایج مذکور تراک به سوی شاولی گسیل می‌شود که زمان تاخیر کمتری داشته باشد در جدول٥-٤ یک مثال از تاخیرهای تراک در صف شاول آورده شده است.

جدول ٥-٤- یک مثال برای تاخیرهای تراک در صف تراک [١٩]

ردیف	حجم کل ناوگان	تعداد تراکها در			شاول (١) (بارگیری در هفته)	شاول (٢) (بارگیری در هفته)	شاول (٣) (بارگیری در هفته)	شاول (٤) (بارگیری در هفته)	شاول (٥) (بارگیری در هفته)	مجموع (بارگیری در بارگیری در هفته)
		شاول (٣)	شاول (٤)	شاول (٥)						
١	٣٢	٦	٦	٦	٩٧٨	٨٧٣	٨٥٧	٨٨٠	٩٢٦	٤٥١٤
٢	٣٣	٦	٦	٧	٩٧٨	٩٥٢	٨٦٨	٨٨٤	٩٢١	٤٦٠٣
٣	٣٣	٦	٧	٦	٩٧٧	٨٦٩	٩٤٣	٨٩٤	٩٢٦	٤٦٠٩
٤	٣٣	٦	٦	٧	٩٧٣	٨٧٧	٨٦٢	٩٦٥	٩٢٧	٤٦٠٤
٥	٣٤	٧	٧	٦	٩٧٨	٩٤٦	٩٤٠	٨٨٦	٩٢٤	٤٦٧٤
٦	٣٤	٧	٦	٧	٩٧٦	٩٤٧	٨٥٦	٩٦٦	٩٢٥	٦٧٠
٧	٣٤	٦	٧	٧	٩٧٥	٨٧٥	٩٤١	٩٦٩	٩٢٧	٤٦٨٧
٨	٣٥	٧	٧	٧	٩٧٦	٩٤٤	٩٣٢	٩٦٤	٩١٩	٤٧٣٥

[1] _ Dispacher

شبیه‌سازی ناوگان حمل و نقل با بکارگیری سیستم دیسپچینگ در معدن با افزایش تعداد تراکها شبیه‌سازی ناوگان حمل و نقل با بکارگیری سیستم دیسپچینگ در معدن با افزایش تعداد تراکها از ۱۵ عدد در مرحله اول انجام شد. در شکل ۵-۸ مقایسه نتایج تولیدات معدن در هر دو مدل شبیه‌سازی شده به‌عنوان تابعی از حجم کل ناوگان نشان داده شده است.



شکل ۵-۸ -مقایسه تولید معدن در روشهای با استفاده از دیسپچینگ و بدون آن [۱۹]

با مقایسه تولید معدن در دو روش مزبور به این نتیجه می‌رسیم، زمانیکه از سیستم دیسپچینگ در عملیات حمل و نقل معدن استفاده می‌شود، مقدار تولید افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل ۵-۸ مشاهده می‌شود مقدار تولید ۳۱ تراک در سیستم دیسپچینگ در مقایسه بکارگیری ۳٤ تراک در سیستم بدون دیسپچینگ دارای تولید یکسانی می‌باشند. موارد زیر از شکل ۸-۵ استنباط می‌شود:

۱-استفاده از سیستم دیسپچینگ در معادن با حجم ناوگان کم مفید نمی‌باشد زیرا مدت زمان قابل ملاحظه‌ای شاولها بیکار می‌باشند.

۲-در صورتیکه حجم ناوگان حمل و نقل افزایش یابد، مدت زمان بیکاری شاولها کاهش می‌یابد زیرا مدت زمان انتظار کامیونها در صف شاولها افزایش می‌یابد. بنابراین، این موضوع اهمیت بیشتری می‌یابد تا با استفاده از سیستم دیسپچینگ تراکها با کمترین **زمان انتظار** در صف بسوی شاولها گسیل شوند.

۵-۱-۳ - شبیه‌سازی سیستم بارگیری و حمل در معادن زیرزمینی

تعیین تعداد و ظرفیت بهینه ماشین آلات بارگیری و حمل در معادن زیرزمینی تاثیر بسزایی در افزایش مقدار تولید معدن و کاهش هزینه های سرمایه گذاری دارد. از اینرو می‌توان از شبیه‌سازی کامپیوتری به‌عنوان ابزاری مناسب برای تعیین تعداد و ظرفیت **LHD** ها، ترنها و نوارها در معادن زیرزمینی استفاده کرد.

از این روش در معدن کانفیدنشل[1] که با روش تخریب بزرگ استخراج می‌شود. برای مطالعه عملکرد **LHD** ها، ظرفیت ترنها در عملیات حمل مواد، ظرفیت سنگ شکن ها، نوارها، انبارها و ظرفیت حمل مواد در چاه ها استفاده شده است. از اینرومطالعه امکان بکارگیری **LHD** ها تاثیر بسزایی در مقدار تولید خواهد داشت. هدف اصلی این مطالعه تعیین تعداد و ظرفیت **LHD** ها، تعداد بهینه ترنها، ظرفیت سنگ شکن، ظرفیت بالابرها و ظرفیت انبارها می‌باشد. شایان ذکر است مطالعه مذکور هزینه های سرمایه گذاری را به مقدار ٤/٤ میلیون دلار کاهش داد[۸].

۵-۱-٤- شبیه‌سازی شبکه های نوار نقاله

شبکه های نوار نقاله بیشتر در معادن زیرزمینی بویژه معادنی که به روش جبهه کار بلند، استخراج می‌شوند کاربرد دارد. بکارگیری سیستم نوار نقاله باعث کاهش هزینه های حمل و نقل، و حمل پیوسته مواد با ظرفیت بالا می‌شود. علی رغم مزایای عمده بکارگیری نوار نقاله این سیستم دارای مشکلاتی به شرح ذیل می‌باشد [۲۰].

۱-استخراج در سینه کارهای معدنی بصورت متناوب و با نرخهای متفاوتی صورت می‌گیرد. شبکه نوار نقاله برای مقدار حداکثر طراحی می‌شود که باعث افزایش هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی می‌گردد.

شایان ذکر است با طراحی دقیق سیستم حمل مواد با در نظر گرفتن ظرفیت انبار مواد، فیدرها و کنترل دقیق زمان تخلیه، می‌توان مقدار اختلاف متوسط بارگیری و حداکثر را کاهش داد. در نتیجه با طراحی درست سیستم نوار نقاله می‌توان از سیستم نوار نقاله کوچکتری استفاده کرد بدون اینکه بر مقدار بازدهی تاثیری بگذارد.

۲-سیستمهای نوار نقاله بصورت سری با یکدیگر کار می‌کنند یعنی هنگامیکه یکی از آنها خراب شود کل سیستم حمل مواد متوقف می‌شود. در نتیجه باعث توقف عملیات استخراج در سینه کارها می‌گردد. لذا با استفاده از سیستمهای نوار نقاله قابل اعتماد می‌توان مقدار خرابی سیستم را به مقدار چشمگیری کاهش داد.

۳-سیستمهای نوار نقاله مواد را از نقاط مختلف معدن جمع آوری می‌کنند، لذا انجام جدایش مواد (باطله و کانه) در این سیستم بسیار مشکل می‌باشد. بدین ترتیب برای کنترل کیفیت مواد می‌توان از روشهایی نظیر استخراج متناوب مواد مختلف در محلهای متفاوت و بکارگیری بونکرهای مجزا برای انبار مواد استفاده کرد. اما این راه کارها راه حلهای رضایت بخشی برای کنترل کیفیت مواد نمی باشند.

برای مثال در طراحی سیستم حمل و نقل شامل فقط یک نوار نقاله و یک محل بارگیری، بهینه کردن مقدار نرخ جریان [۲] مواد مشکل نمی باشد. حتی در این مثال ساده نیز طراح باید محلی را برای انبار مواد در نظر بگیرد تا در صورت خرابی های غیر منتظره عملیات حمل مواد متوقف نشود. در صورتیکه در یک معدن ممکن است یک نوار نقاله از چندین محل بارگیری شود. بعلاوه این نوار ممکن بار خود را بداخل یک نوار اصلی و یا نوار مادر تخلیه کند[۲۱].

---

[1] _ confidential

[2] _ Rate Flow

بدین ترتیب گسترش شبکه های نوار نقاله در معادن زیرزمینی باعث پیچیده‌تر شدن طراحی شبکه نوار نقاله می‌شود. از اینرو برای طراحی مناسب آن، زمان ورود بار روی هر نوار، طول بارگیری روی هر نوار، نسبت های بین محلهای بارگیری و تخلیه، مقدار ظرفیت انبار در سیستم، اطلاعات مربوط به تعمیر و نگهداری نوار نقاله، شرایط بارگیری مانند تعداد نقاط بارگیری و نرخ بارگیری آنها و کلیه تاخیرهای عملیاتی و خرابی ها باید مشخص شوند [۲۱].

مهندسین معدن روشهایی برای حداقل کردن سه محدودیت فوق ارائه کرده اند. در این زمینه بکار گیری روش شبیه‌سازی کامپیوتری به‌عنوان ابزاری با ارزش برای حداقل کردن مشکلات فوق پیشنهاد شده است.

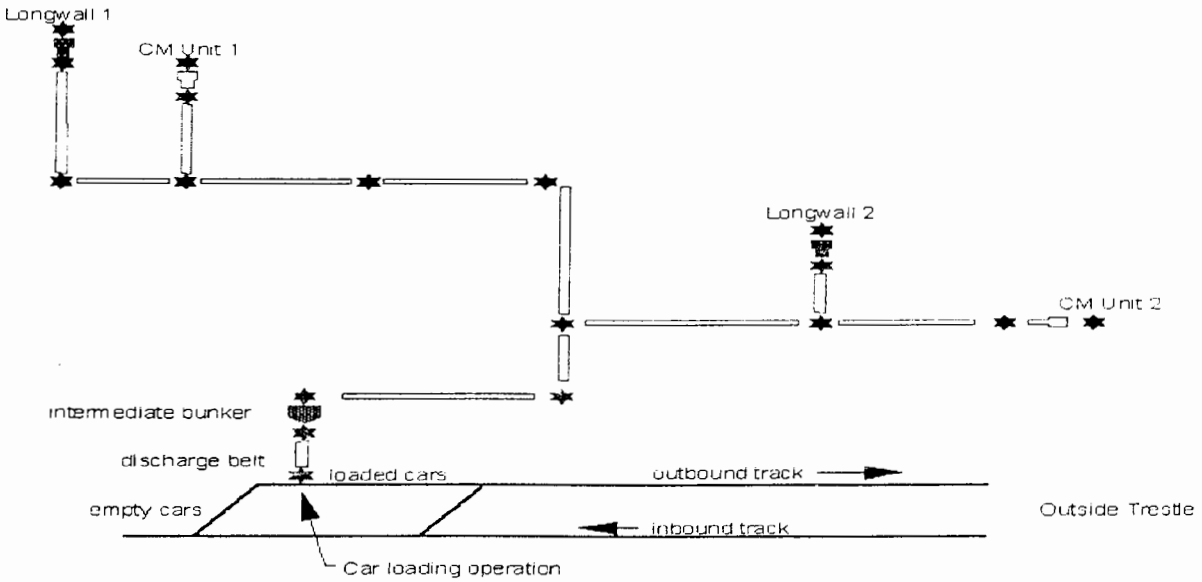
۵-۱-٤-۱- مطالعه موردی شبیه‌سازی شبکه نوار نقاله در معدن زیر زمینی ذغالسنگ[۱]

در شکل ۵-۹ نمایی ساده از بکار گیری سیستم حمل و نقل ترن و نوار نقاله در معدن زیر زمینی ذغالسنگ در پنسیلوانیا مشاهده میشود . در سیستم مزبور، ارتباط بخشهای سیستم یعنی ترنها، شبکه نوار نقاله و سینه‌کارهای استخراجی بسیار مهم میباشد. بدین ترتیب زیر سیستمهای مذکور باید به دقت و به شکلی مناسب با هم مدل شوند .

در سیستم مذکور هنگامیکه که بونکرها پر میباشند، نوار نقاله متوقف میشود ومدت زمان کوتاهی عملیات استخراجی متوقف میشود. شروع حرکت نوارها با بارگیری مواد به داخل واگنها آغاز می‌شود. با قرار گرفتن واگنها درمحل بونکرها، بارگیری آنها یکی پس از دیگری صورت میگیرد . با اتمام بارگیری کلیه واگنها، لوکوموتیو شروع به حرکت میکند. در مسیرحرکت لوکوموتیو مراکز کنترل وجود دارند که اجازه حرکت آنرا به ایستگاه بعدی صادر می‌کنند . از اینرو گرچه دو مسیر برای عبور ترنها وجود دارد اما حرکت آنها به یکدیگر وابسته است در این زمینه مدت زمان تاخیرترنها مانند تاخیر در عملیات بارگیری واگنها در نظرگرفته می‌شود.

---

[۱]-مطالب این بخش از منبع ۲۰ اقتباس شده است.



شکل ۵-۹- سیستم حمل و نقل معدن ذغالسنگ در منطقه پنسیلوانیا(۲۰)

عملیات نوار نقاله، در اثر خرابی یا تعمیرسیستم، یا هنگامیکه ورود واگنها به محل بونکرها (بدلیل پر بودن آنها) با تاخیر زیادی همراه باشد متوقف میشوند . در نتیجه عملیات استخراج در سینه کارها با اتمام ظرفیت بافرها متوقف میشود تا اینکه عملیات نوار دوباره شروع شود .

در عملیات استخراج به روش جبهه کار بلند، حرکت شیرر در طول سینه کار بر حسب فواصل برش، جریان مواد در داخل نوار نقاله که به صورت تابعی از محل برش، ضخامت لایه و سرعت برش شیرر میباشند، تعریف میشود.سرعت حرکت شیرر در سینه کار با نرخهای متفاوتی صورت می‌گیرد که بستگی به سرعت برش در محل مزبوردارد. سرعت برش شیرر از محلی به محل دیگر تغییر میکند. در اثر کار مداوم شیررها، آنها نیاز به تعمیر و نگهداری و تعویض قطعات دارند زمانهای توقف شیرر جزوء زمانهای تاخیر عملیاتی محسوب می‌گردد .

در پایان با لحاظ تاخیرهای موجود در سیستم مانند تاخیرهای موجود در یک شیفت، تعویض شیفت، تعطیلات آخر هفته و... مدل را اجرا می‌کنیم. مدل شبیه‌سازی شده مقادیر تولید را به طور مطلوبی پیش بینی می‌کند و مطالعه اثر تعویض وسایل و آنالیز حساسیت را مسیر می‌سازد. برای مثال در این معدن تاثیر ظرفیت بونکرها و تعداد ترنها در مقدار تولید مورد بررسی قرارگرفت. نتایج اجرای مدل در جدول ۵-۵ آورده شده است.

جدول ۵-۵-مقایسه تاثیر ظرفیت بونکرها و تعداد ترنهادرمقدار تولیدشبکه نوار نقاله[۲۰]

تعداد ترنها	ظرفیت بونکر (ST)[1]	میانگین تولید (ST/DAY)	90%- CONF.INT
۳	۳۰۰	۱۰۲۴۰	۱۰و۴۵۰ ۱۰و۰۳۰
۳	۱۰۰۰	۱۰۵۷۰	۱۰و۷۸۰ ۱۰و۳۶۰
٤	۳۰۰	۱۱۸۶۰	۱۱و۲۲۰ ۱۲و۴۹۰
٤	۱۰۰۰	۱۲۰۹۰	۱۱و۴۲۰ ۱۲و۷۴۰

[1] منظور از ST واحد تن کوچک می‌باشد.

بطوریکه ملاحظه می‌شود افزایش تعداد ترن ها از ۳ به ٤ مقدار بازدهی تولید را ۱۵ درصد افزایش می‌دهد درصورتیکه در اثر افزایش حجم چشمگیر بونکرها مقدار تولید فقط ۳ درصد افزایش می‌یابد.

۵-۲- بکارگیری شبیه‌سازی کامپیوتری در فرایند فرآوری در معدن[۱]

چندین نرم‌افزار برای شبیه‌سازی عملیات مختلف معدنی وجود دارد. که براساس بالانس اجزا سیستم پایه ریزی شده اند. بطوریکه واحدی از مواد که از سیستم عبور می‌کند به‌عنوان یک جز گسسته در نظر گرفته می‌شود .

در سال ۱۹۹۵ دکتر استارگل با استفاده از زبان شبیه‌سازی **GPSS/H** عملیات یک فرایند فرآوری معدنی را با بکارگیری یک زبان شبیه‌سازی گسسته شبیه‌سازی کرد.

۵-۲-۱- اجزا مدل در فرایند فرآوری

در هر معدن سیستم فرایند فرآوری متفاوتی وجود دارد گرچه برخی از قسمتهای آن مشترک می باشد.این سیستم فرایند فرآوری همانطور که در شکل ۱۰-۵ مشاهده می‌شود شامل قسمتهای زیر می‌باشد.

الف - یک لودر (با بارگیری از جلو **FEL**) کانه را از استوک پایل به سنگ شکن حمل می‌کند. هنگامیکه **FEL** به استوک پایل بر می‌گردد، کانه به قدر کافی وجود دارد. کانه از دو نوع **A**و **B** می‌باشد. زمان رفت و برگشت لودر به استوک پایل در هر بار بارگیری از جلوی استوک پایل افزایش می‌یابد. عیار هر یک از کانه های **A**و **B** می‌باشد و هر کدام از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. هنگامیکه تمامی کانه برداشته می‌شود عملیات بارگیری دوباره از ابتدای استوک پایل شروع می‌شود.

۱- مطالب این بخش از منبع [۲۲] اقتباس شده است

ب- هنگامی که مقدار کانه در سنگ شکن به حد معین رسید، عملیات سنگ شکنی شروع می‌شود. نسبت خردایش[1] در سنگ شکن یک متغیر داخلی می‌باشد. بارخروجی دارای دو عیار A و B می‌باشد. در هر زمان مقدار بار ورودی به سنگ شکن تا حدودی متغیر می‌باشد.

ج - بار خروجی سنگ شکن داخل آسیاب می‌ریزد. پس از خردایش مواد، عیار بار خروجی آسیاب شبیه بار ورودی نمی باشد. مقدار عیار بار خروجی میانگینی از عیارهای بار ورودی میباشد. در آسیاب مقدار نسبت خردایش یک متغیر داخلی می‌باشد.

د- سپس مواد داخل آسیاب دوم قرار می‌گیرد. مقدار عیار کانه موجود در آن دارای توزیع یکنواخت‌تری می‌باشد. نسبت خردایش در آسیاب یک متغیر داخلی می‌باشد. برای اینکه عیار بار خروجی در محدوده معینی قرار بگیرد، مقدار آن باید تست شود. اگر عیار بالاتر یا پایین‌ترتر از حد معین باشد، نسبت خردایش آسیاب افزایش یا کاهش می‌یابد.

ذ- هنگامیکه مواد از آسیاب دوم خارج می‌شود، در یکی از انواع A ویا B و یا ترکیبی از A و B باطله طبقه بندی می‌شوند. برای مثال یک واحد از بار خروجی می‌تواند دارای عیار ۰/۰۱ برای A، ۱/۵٪ برای B، ۳ ٪ از A،B و ۹٤/۵٪ از باطله باشد.

ه- هر یک از سه نوع محصول فیلتر پرس می‌شود. پس از خشک کردن محصولات هر یک در مکانی معین انباشته می‌شود. مواد باطله فورا به محدوده دپو منتقل می‌شوند که در صورت نیاز می‌توانند به عنوان مصالح پرکننده[2] در معدن استفاده شوند.

۵-۵-۲- منطق برنامه شبیه‌سازی فرایند فرآوری

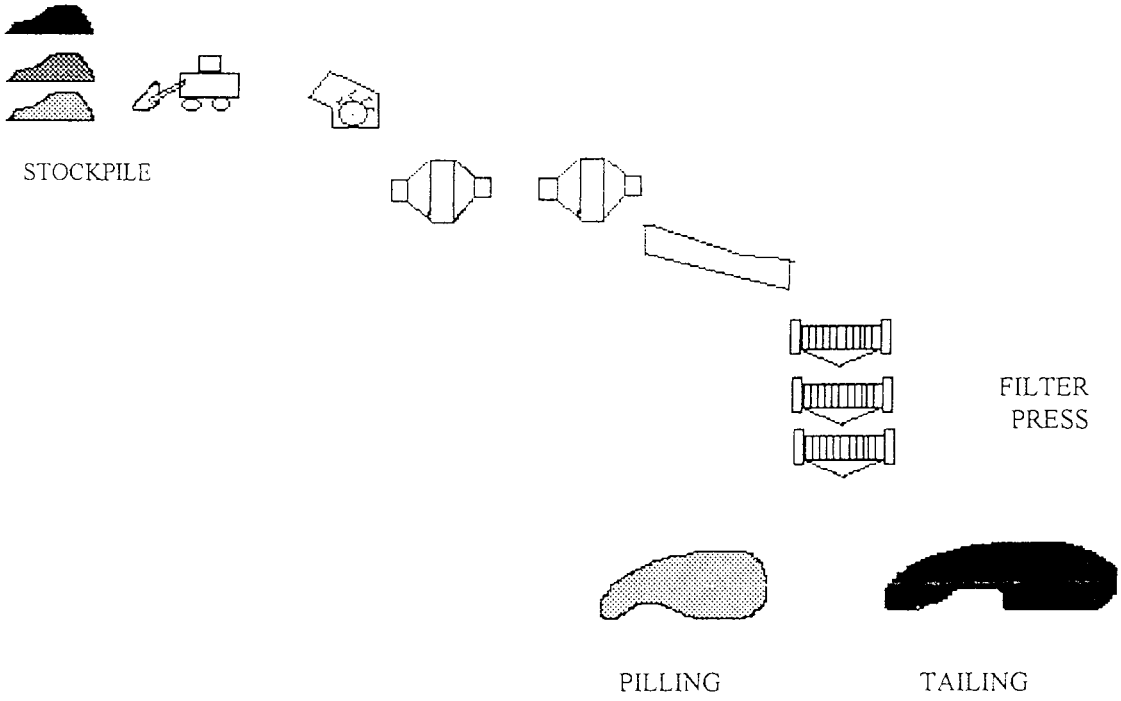
بارگیری لودر و تخلیه مواد در سنگ شکن با دستور START شروع می‌شود. برنامه به کمک توزیعهای آماری زمان رفت و برگشت لودر؛ عملیات بارگیری مواد را ادامه می‌دهد. بارگیری لودر و

---

[1] _MILLRATE

[2] _ Back fill

تخلیه مواد داخل سنگ شکن تا زمانی که وزن مواد به حد معین برسد ادامه می‌یابد. وقتی که وزن مواد درمحدوده معین قرار گرفت، کنترل برنامه به قسمت سنگ شکن منتقل می‌شود.



شکل ۱۰-۵- فلوشیت کارخانه کانه آرایی شبیه‌سازی شده [۲۲]

عملیات سنگ شکنی با رسیدن برنامه به دستور START شروع می‌شود. ابعاد مواد خرد شده در هر زمان توسط برنامه تست می‌شود. اگر ابعاد آن در محدوده توزیع آماری ابعاد بار خروجی سنگ شکن قرار داشت کنترل برنامه به مرحله بعدی منتقل می‌شود. در غیر این صورت نسبت خردایش در سنگ شکن افزایش یا کاهش می‌یابد. زمانیکه ابعاد بار خروجی در محدوده معین قرار گرفت، سنگ شکن توسط دستورTERMINATE متوقف می‌شود.

پس از توقف سنگ شکن، کنترل برنامه به قسمت آسیاب اول می‌رود. آسیاب با رسیدن برنامه به دستور START شروع بکار می‌کنند. برای اینکه عیار بارخروجی آسیاب در محدوده معین قرار بگیرد،

مقدار آن توسط برنامه تست می‌شود. اگر عیار بار خروجی بالاتر یا پایین‌تر از حدود معین باشد، برنامه کامپیوتری مدت زمان آسیاب کردن را افزایش یا کاهش می‌دهد. پس از توقف آسیاب اول کنترل برنامه به قسمت آسیاب دوم منتقل می‌شود. با توجه به عملکرد یکسان آسیابها نیازی به دوباره نویسی برنامه نمی باشد و کنترل برنامه توسط دستور **TRANSFER** به قسمت اول برمی گردد.

با توقف آسیاب دوم کنترل برنامه به قسمت کلاسیفایرها منتقل می‌شود. طبقه بندی مواد کلاسیفایر اول مدت ٦٠ دقیقه به طول می‌انجامد. سپس کنترل برنامه به کلاسیفایر دوم منتقل می‌شود. بدین ترتیب مواد در انواع **A**، **B** و ترکیبی از **A**، **B** و باطله طبقه بندی می‌شوند.

با توقف کلاسیفایرها کنترل برنامه به قسمت فیلتر پرسها منتقل می‌شود. فیلتر پرسها مواد مذکور را در سه مرحله پرس می‌کنند. مدت زمان پرس بر حسب نوع مواد متفاوت می‌باشد. برای مثال در مدت یک دقیقه کانه **A** در یک مرحله پرس می‌شود. برنامه، هر یک از سه نوع محصول فیلتر پرس شده را به طور مجزا با یکدیگر جمع می‌کند. برای بررسی مقدار موجودی انبار کنسانتره ومقدار باطله می‌توان در هرزمان برنامه را متوقف کرد و مقدار مورد نظر را مورد ارزیابی قرار داد و از همان لحظه عملیات را ادامه داد.

در شبیه‌سازی کامپیوتری روند عملیات توسط دستورها کنترل می‌گردد. در هر قسمت بر حسب نیاز تستهایی انجام می‌گیرد. در صورت مثبت بودن تست، کنترل برنامه به قسمت بعدی منتقل می‌شود. در غیر این صورت برنامه برحسب شرایط تغییراتی را انجام می‌دهد تا عملیات در هر قسمت به‌نحو مطلوب پایان پذیرد.

٥-٣- برخی از نمونه های دیگر کاربرد شبیه‌سازی کامپیوتری درمعدن

علاوه برمواردیکه پیش از این به آنها اشاره شد.برخی دیگر از نمونه های کاربرد شبیه‌سازی کامپیوتری در معادن عبارتند از [٢٣]:

١. شبیه‌سازی عملیات معدنکاری اتاق و پایه (استنلی[1] ١٩٦٩).

٢. شبیه‌سازی عملیات اکسکاواتورهای بیل چرخشی (مانولا[2] ١٩٧٠).

٣. بکارگیری شبیه‌سازی کامپیوتری برای کنترل ترافیک در معادن ذغالسنگ. برای دستیابی به اینکه تاخیرهای عملیاتی چه زمان، در کجا وچرا رخ می‌دهند.(وایلک[3] ١٩٧٠).

٤. شبیه‌سازی عملیات LHD در معدنکاری اتاق و پایه در معادن زغال سنگ (بکت[4] ١٩٧٧).

٥. استفاده از آن درطراحی آزمایش (گریفین[5] ١٩٨٦).

٦. تعیین محل مناسب برای سنگ شکنهای متحرک در داخل کاواک (استارگل ١٩٨٧).

٧. شبیه‌سازی عملیات کارخانه ذوب مس (بارا[6] ١٩٨٤).

٨. شبیه‌سازی کامپیوتری عملیات در اگلاین در معادن سطحی ذغالسنگ(بولنت اردم[7] ١٩٩٦).

---

[1]- Stanly

[2]- Manula

[3]- Wilke

[4]- Backet

[5]-Griffin

[6]- Barra

[7]- Bulent erden

نتایج

بکارگیری روش شبیه‌سازی کامپیوتری نتایج و دستاوردهای زیر را در بر خواهد داشت:

۱-پیش‌بینی و بهینه سازی طرحهای صنعتی و معدنی.

۲-کارآمدی ،سرعت و ارزانی روش شبیه سازی کامپیوتری به منظور تجزیه و تحلیل و برنامه ریزی علمی سیستمهای پیچیده.

۳-بهره گیری از روش شبیه‌سازی کامپیوتری به عنوان جایگزینی برای روشهای تحلیل ریاضی وشبیه سازی فیزیکی.

٤-ارایه مدلی از سیستم واقعی به منظور رقابت در عرصه تجاری.

٥-فراهم آمدن تصویری از چگونگی فعالیتها و نحوه تعامل عوامل موجود و مرتبط با سیستم.

٦-فراهم آمدن نتایج آماری و گرافیکی و بکارگیری آن در تصمیم‌گیری و ارزیابی‌های طرحهای معدنی.

۷-بهره گیری از شبیه سازی کامپیوتری در انجام مطالعات امکان سنجی، مکان یابی ، تخصیص منابع و مسیریابی طرحهای معدنی.

۸-تهیه تصویری روشن از سیستم برای توضیح به مدیران ،سرمایه گزاران و تامین کنندگان طرحهای معدنی.

منابع

١-صالحی فتح آبادی ، "حسن.شبیه سازی سیستم ها بوسیله کامپیوترهای رقمی" ،انتشارات بخش فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی،سال ١٣٦٩.

٢-اقدسی ، محمد. "شبیه سازی کامپیوتری و زبان **SLAM**" ، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، ١٣٧٢٧.

٣-محلوجی،هاشم. "اصول شبیه سازی"،انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی شریف،١٣٦٧.

٤-آزاده محمدعلی، "جزوه درسی شبیه سازی کامپیوتری" ، دانشگاه تهران،١٣٧٧.

٥-رابرت شانون ،ترجمه علی اکبر مازار،"علم و هنر شبیه سازی سیستمها" ، انتشارات مرکز دانشگاهی، ١٣٧١.

6-C S orentino,DW Barnett, "Financial Risk and Probability Analysis in Mineral Valuation, Mineral Valuation Methodologies Conference, Sydney, October 1994.

٧- سهرابی سروش ،"مدلسازی ریاضی-منطقی و کاربرد آن در معدن" ، پروژه کارشناسی ،دانشکده فنی ومهندسی ، دانشگاه شاهرود، ١٣٧٤.

8-C.V. Jacobs, Successful South African Mining Simulation Applications South Africa ,First International Symposium on Mine - Simulation via the Internet, December 1996 .

9-John R .sturgul and John F.harrison, Using a Special Computer Language for Simulating Coal Mines ,The Coal Jornal,No. 18,1987.

11-John r. Sturgul ,Ren Yi, Building Simulation Models of Surface Coal Mines Using the Computer Language ,The Coal Journal,No.15,1987.

12-John R. Sturgul , History of Discrete Mine System Simulation , First International Symposium on Mine Simulation via the Internet, December 1996 .

13-Luis Argoelles,Designing new User Interfaces for GPSS/H ,First International Symposium on Mine Simulation via the Internet, December 1996.

14-John R. Sturgul,Simulation Languages for Mining Engineers ,First International Symposium on Mine Simulation via the Internet, December 1996.

۱۵-مشرفی سهیل، "شبیه سازی سیستم حمل و نقل آهک در کارخانجات سیمان صوفیان"، پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشکده معدن و متالوژی، دانشگاه امیر کبیر،۱۳۷۷.

16-G. J. GRAY .Maximising the Operational Benefit of Capital Investment via Computer Simulation,MINCOST 90,Sydney June.

17-John Harrison and John R.Sturgul,GPSS Computer Simulation of Equipment Requirements for the Iron Duke Mine,second large open pit Mining Conference,april 1989.

18-David W.H. Ellis,Mine Design Using Simulations ,First International Symposium on Mine Simulation via the Internet, December 1996 .

19-M.Ataeepour and E.Y.Baafi, Application of ARENA Simulation System to Compare Truck –Shovel Operation in Dispatching and Non-Dispatching Modes.Mine Planing and Equipment Selection 1988.

20-Jon C. Yingling,The Use of Simulation in Design of Mine Conveyor and Bulk Materials Handling Systems,First International Symposium on Mine Simulation via the Internet, December 1996

21-R.V.Ramani,Haulage Systems Simulation Analysis,Surface Mining Editor Bruce A.Kennedy,PT Pelsart Management Services,

22-John R. Sturgul, Teodor Laurentiu Tecsa, Using Discrete Simulation for a Mine Mill,First International Symposium on Mine Simulation via the Internet, December 1996.

23-John R. Sturgul,Annotated Biblograhy of Mine System Simulation (1961-1995),First International Symposium on Mine Simulation via the Internet, December 1996.