طرح سیستم نیمه‌اتوماتیک گسیل لحظه‌ای کامیون با استفاده از *GPS* و بی‌سیم در معادن روباز ایران

مهدی یاوری[۱]، سید حمید سکاکی[۲] و مرتضی شناور[۳*]

۱- عضو هیئت، علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران

۲- استاد مدعو، دانشکده معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Email: m_shenavar@yahoo.com

چکیده

استفاده از سیستم‌های گسیل تمام اتوماتیک کامیون نقش عمده‌ای در کاهش هزینه‌های عملیات ترابری معادن روباز ارائه می‌کند. این عملیات بیشترین سهم را در میان اقلام هزینه‌های معدنکاری روباز به خود اختصاص می‌دهند. به همین دلیل در اکثر معادن روباز دنیا استفاده از سیستم‌های گسیل تمام اتوماتیک رایج شده است، ولی در ایران هنوز روش‌های تخصیص ثابت آن‌هم به نحوی کاملاً غیر صحیح متداول می‌باشند. کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت سودآوری در معادن روباز، راه‌اندازی هرچه سریع‌تر سیستم‌های گسیل انعطاف پذیر را در ایران ایجاب می‌کند.

فقدان بسترهای مناسب برای به کارگیری سیستم گسیل تمام اتوماتیک در معادن روباز ایران و ضرورت بهبود هرچه سریع‌تر وضعیت کنونی ترابری در این معادن، برداشتن اولین گام‌ها را از طریق راه‌اندازی سیستم‌های نیمه اتوماتیک ضروری می‌سازد. در این نوشتار ضمن مروری بر روش‌های تخصیص ثابت و انعطاف‌پذیر و سیستم‌های اجرایی تخصیص و گسیل (دستی، نیمه اتوماتیک و تمام اتوماتیک)، سیستم نیمه اتوماتیک گسیل لحظه‌ای کامیون با استفاده از *GPS* و بی‌سیم به عنوان سیستم پیشنهادی برای معادن روباز ایران مورد بررسی قرار گرفته است. ملزومات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سیستم، مدل برنامه‌ریزی حمل و نقل برای تخصیص کامیون و الگوریتم گسیل کامیون عناوین موضوعات مورد بحث در این تحقیق هستند.

تجربه نشان داده است که با به کارگیری سیستم‌های گسیل کامیون با کاهش زمان‌های مسافرت (کامیون) و انتظار (شاول و کامیون)، تولید به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: ترابری، گسیل و تخصیص کامیون، بهینه سازی ترابری معادن، دیسپچینگ

* تهران- میدان ولی‌عصر(عج)- خیابان دمشق- پلاک ۲۱- خوابگاه شهید شرفی- اتاق ۴۰۵

۱- مقدمه

با مطرح شدن تکنیک‌های تحقیق در عملیاتی و افزایش قدرت و سرعت کامپیوترها استفاده از آنها در معادن اجتناب ناپذیر بود. یکی از عملیاتی که در معادن به سرعت توجه متخصصان تحقیق در عملیاتی را به خود جلب کرد ترابری معادن روباز بود که دلیل آن پرهزینه بودن این عملیات می‌باشد و با بهینه کردن آن می‌توان صرفه‌جویی‌های زیادی را در معادن داشت. با تلفیق تکنیک‌های تحقیق در عملیاتی، برنامه‌نویسی کامپیوتری، سیستم‌های الکترونیکی و مخابراتی، سیستم‌های تمام اتوماتیک گسیل کامیون در معادن دنیا به بهره‌برداری رسیده‌اند.

مسائل گسیل کامیون مختص صنعت معدنکاری نیستند و در هر صنعتی که در آن یک ناوگان وسایل نقلیه با گروهی از افراد مدیریت می‌شوند مانند کشتیرانی، تاکسیرانی و یا سیستم پست وجود دارد. مسأله گسیل کامیون در معادن روباز عبارت است از جواب به یک سؤال: "کامیون بعد از ترک محل تخلیه باید به کجا برود". برای پاسخ به این سؤال باید بهترین مقصد با توجه به هدف تعیین شده برای کامیون مشخص شود. البته گسیل کامیون در معدن به پیچیدگی آن در صنایع دیگر نیست و گاهی اقات فقط یک انتخاب برای گسیل کامیون موجود می‌باشد. سیستم‌های ترابری معادن سیستم‌های بسته‌ای هستند (تعداد کامیون‌ها و مسیرها محدود است) و نقاط بارگیری و تخلیه به مدت طولانی ثابت می‌مانند. در ضمن فاصله رفت و آمد در مقایسه با مدت زمان شیفت کم بوده و میزان تقاضا در هر نقطه بالا می‌باشد[۱]. برای تخصیص کامیون به شاول‌ها از دو روش تخصیص ثابت و انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود که در زیر به آنها اشاره می‌شود[۲].

۲-۱ تخصیص ثابت

در این روش یک کامیون به یک شاول خاص تعلق داشته و تا آخر شیفت با همان شاول کار می‌کند[۲]. تعداد کامیون‌ها برای هر شاول ثابت و مشخص بوده و در طول شیفت تغییری نمی‌کند. هر کامیون اجازه بارگیری از یک شاول خاص را دارد و با توجه به بار خود (ماده معدنی یا باطله) به محل تخلیه مناسب (سنگ‌شکن، انباشتگاه ماده معدنی و یا انباشتگاه باطله) ارسال می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت که روش تخصیص ثابت یک روش استاتیکی برای تخصیص کامیون‌ها می‌باشد و تا زمانی که برنامه تخصیص تغییر نیابد ادامه خواهد داشت[۳].

روش‌های مختلفی برای تخصیص کامیون وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های سنتی، با استفاده از مبانی تئوری صف، برنامه‌ریزی پویا و برنامه‌ریزی ابتکاری اشاره کرد. در تمام این روش‌ها هدف به دست آوردن تعداد بهینه کامیون‌های اختصاص داده شده به هر شاول می‌باشد که با تابع هدف‌های مختلف امکان پذیر می‌باشد[۲و۳].

روش تخصیص ثابت در مقایسه با روش انعطاف پذیر دارای معایب زیر می‌باشد[۳]:

۱- سرمایه‌گذاری اولیه زیاد (به دلیل بالا بودن تعداد کامیون در روش تخصیص ثابت)؛
۲- پایین بودن کارایی در روش تخصیص ثابت؛
۳- هزینه‌های عملیاتی (سوخت، سرویس، تعمیر و نگهداری و ...) بالا؛
۴- افزایش زمان سیکل کاری به دلیل اتلاف وقت زیاد؛
۵- عدم وجود سیستم کنترلی برای کامیون‌ها؛
۶- افزایش میزان حوادث و ترافیک در مسیرها؛
۷- بالا بودن تعداد نفرات لازم برای کار.

۲-۲ تخصیص انعطاف‌پذیر

مطالعات بسیاری از محققان گویای این است که روش تخصیص ثابت در برنامه‌ریزی ترابری معادن بزرگ کارا و مفید نمی‌باشد. در روش تخصیص انعطاف‌پذیر کامیون‌ها در طول شیفت یا دوره کاری به شاول خاصی تخصیص داده نمی‌شوند بلکه در هر لحظه با توجه به شرایط مختلف و بر مبنای یک سیستم خاص، کامیون‌ها برای بارگیری به سوی شاول‌ها ارسال می‌شوند. مطالعات محققان نشان داده است که تخصیص و گسیل انعطاف پذیر کامیون‌ها نه تنها موجب رفع مشکلات پیچیده کنترل و برنامه‌ریزی آنها است بلکه افزایش قابل توجهی را در توان بارگیری و باربری مجموعه شاول-کامیون ایجاد می‌نماید[۳].

مدل‌های چند مرحله‌ای گسیل انعطاف پذیر کامیون عموماً در دو بخش اصلی توسعه پیدا کرده‌اند. بخش اول (شامل ۱ یا ۲ مرحله) معمولاً مشتمل بر یک مدل برنامه‌ریزی خطی یا غیر خطی است که با توجه به توابع هدف مختلف مسیرهای بهینه و نرخ این مسیرها را مشخص می‌کند. بخش دوم با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی یا ابتکاری، الگوریتم گسیل لحظه‌ای کامیون را توسعه می‌دهد که به صورت دینامیکی و با توجه به بهترین حالت بخش اول کامیون‌ها را به شاول‌ها گسیل می‌کند[۴].

قابلیت الگوریتم گسیل کامیون برای بیشینه‌سازی تولید و حفظ کیفیت ماده معدنی در دامنه‌ای خاص به الگوریتم گسیل لحظه‌ای کامیون و مدل برنامه‌ریزی خطی یا غیر خطی یاد شده بستگی دارد. همچنین توانایی سیستم گسیل کامیون در واکنش سریع در برابر تغییرات ناگهانی وضعیت کامیون یا شاول بسیار مهم می‌باشد. توابع هدفی که به طور معمول در مدل برنامه‌ریزی برای تخصیص کامیون استفاده می‌شود عبارت‌اند از: بیشینه‌سازی بهره‌وری کامیون‌ها و شاول‌ها[۵]، بیشینه‌سازی تولید[۶]، کمینه‌سازی کل کار حمل و نقل[۳]، کمینه‌سازی تعداد کامیون‌ها[۲] و غیره. برای گسیل لحظه‌ای کامیون‌ها الگوریتم‌های ریاضی، ابتکاری و ترکیبی از این دو ارائه شده‌اند[۷].

روش‌های اجرایی تخصیص و گسیل کامیون‌ها به سه روش دستی، نیمه اتوماتیک، و تمام اتوماتیک تقسیم می‌شوند[۳].

۲-۲-۱ روش دستی

اساس این روش جداول از قبل تهیه شده و تخمین و برآوردهای مشاهده‌ای در معدن می‌باشد. جداول مذکور با توجه به زمان‌های سیکل کامیون‌ها و شاول‌ها تهیه می‌شوند و هر کدام از این جداول مسیر کامیون‌ها را در طول شیفت، تعداد دفعات بارگیری از ماده معدنی و یا باطله و ارسال هر کدام از کامیون‌ها به سمت شاول خاصی را در طول شیفت مشخص می‌کند. این جداول به صورت هفتگی تهیه و در اختیار هر کدام از رانندگان کامیون‌ها گذاشته می‌شود[۳].

۲-۲-۲ روش نیمه اتوماتیک

اساس کار در این روش محاسبات کامپیوتری بوده و با استفاده از یک کامپیوتر و ارتباط دهنده مخابراتی عمل توزیع و ارسال انجام می‌شود. در این سیستم وضعیت و موقعیت تجهیزات داخل معدن به وسیله مشاهده یا ارتباط دهنده‌های مخابراتی به مرکز کنترل منتقل شده و این اطلاعات توسط مرکز کنترل به صورت داده‌های ورودی وارد کامپیوتر می‌شود. همچنین اطلاعاتی از قبیل موقعیت تجهیزات، مسیرها، انباشتگاه‌های ماده معدنی یا باطله، عیار ماده معدنی، تولید مورد نیاز و ... از قبل در حافظه کامپیوتر موجود می‌باشند. کامپیوتر با استفاده از اطلاعات ورودی، عمل تخصیص و بهینه‌سازی مسیرها را انجام داده و کامیون‌ها را به بهترین مسیرها هدایت می‌کند[۳].

۲-۲-۳ روش تمام اتوماتیک

اساس کار در این روش استفاده از سیستم‌های حسگر الکترونیکی و کامپیوتری در یک شبکه مدار بسته می‌باشد. در این روش کلیه تجهیزات با یکدیگر در ارتباط هستند و کلیه کامیون‌ها به سیستم کامپیوتری و محل‌های ورودی و خروجی معدن به سیستم حسگرهای الکترونیکی مجهزند. عمل انتقال اطلاعات از کامیون به کامپیوتر مرکز کنترل توسط سیگنال‌های الکترونیکی انجام می‌شود. در این روش متصدی مرکز کنترل نقش مهمی را در ارسال کامیون‌ها ایفا نمی‌کند و راننده کامیون فقط با فشار دادن کلیدی تمام اطلاعات را دریافت می‌کند. در این روش کل عملیات ترابری به طور مداوم توسط مرکز کنترل تحت نظر می‌باشد[۳].

۳ ضرورت تغییر وضعیت کنونی ترابری معادن روباز ایران

با دقت بیشتر در واقعیت‌های سیستم ترابری معادن ایران و مطالعه و نظاره دقیق‌تر دو یا سه معدن از معادن بزرگ کشورمان، در خواهیم یافت که سیستم ترابری این معادن یک نوع تخصیص ثابت است که در آن تعداد کامیون‌های تخصیص داده شده به شاول‌ها به درستی محاسبه نشده‌اند (حتی تخصیص ثابت نیز صورت نگرفته است)[۵].

توقف‌های بی‌جای کامیون‌ها (به دلیل عدم وجود سیستم کنترلی)، انتظارهای طولانی شاول‌ها (معدن چغارت)، انتظارهای کامیون‌ها پای شاول‌ها (معدن چادرملو)، سازگار نبودن ماشین‌آلات بارگیری و باربری (معدن سونگون) و ده‌ها مشکلات دیگر در ترابری معادن بزرگ کشور وجود دارند که رفع این مشکلات از ضروریات معدنکاری کشور می‌باشد.

۴- سیستم نیمه اتوماتیک گسیل لحظه‌ای کامیون با استفاده از *GPS* و بی‌سیم

با توجه به اینکه در هیچ یک از معادن ایران از روش‌های تخصیص انعطاف‌پذیر کامیون استفاده نمی‌شود و تقریباً تمام پرسنل معدن با سیستم موجود خود را وفق داده‌اند، تغییر سیستم کار نسبتاً دشواری به نظر می‌رسد. به دلیل عدم آشنایی پرسنل با این سیستم‌ها (به‌ویژه سیستم گسیل تمام اتوماتیک که رانندگان از کسی دستور نخواهند گرفت و کامپیوتر آنها را هدایت خواهد کرد) و همچنین هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالای سیستم‌های تمام اتوماتیک گسیل کامیون، استفاده از این سیستم در این برهه زمانی در معادن ایران غیر ممکن به نظر می‌رسد. استفاده از روش دستی به دلیل محسوس نبودن نتایج آن و همچنین منسوخ بودن آن در جهان برای طرح گسیل کامیون برای معادن ایران توصیه نمی‌شود. روش‌های نیمه اتوماتیک گسیل کامیون نیز رو به منسوخ شدن می‌باشند، ولی برای راه‌اندازی سیستم‌های گسیل تمام اتوماتیک کامیون در ایران، ناچار به تجربه سیستم‌های نیمه اتوماتیک می‌باشیم.

۴-۱- سیستم‌های فرعی و عملکردهای اساسی سیستم نیمه اتوماتیک گسیل لحظه‌ای کامیون پیشنهادی

گسیل انعطاف پذیر کامیون یک عملیات سازماندهی پیچیده با سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای خاص خود می‌باشد. به طور کلی یک سیستم گسیل انعطاف پذیر باید دارای سه سیستم فرعی زیر باشد[۶]:

۱- یک سیستم فرعی برای جمع‌آوری اطلاعات؛

۲- یک سیستم فرعی برای ارسال تصمیمات اتخاذ شده به رانندگان؛

۳- یک مجموعه کنترلی.

در طرح پیشنهادی از بی‌سیم به عنوان سیستم‌های فرعی ۱ و ۲ و از *GPS* به عنوان سیستم فرعی سوم استفاده خواهد شد.

به طور کلی عملکردهای اساسی سیستم گسیل لحظه‌ای کامیون پیشنهادی به ترتیب زیر خواهند بود:

۱- تعیین مسیرهای بهینه و نرخ تناژ بر زمان (به دلیل یکدست نبودن کامیون‌ها در معادن ایران تعیین نرخ کامیون بر زمان برای مسیرها کاربردی نخواهد داشت) برای مسیرهای بهینه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی حمل و نقل و با تابع هدف کمینه‌سازی زمان مسافرت کامیون‌ها؛

۲- گسیل لحظه‌ای کامیون‌ها در مسیرها با توجه به نرخ تعیین شده و با استفاده از الگوریتمی که ارائه خواهد شد؛

۳- کنترل لحظه‌ای کامیون‌ها؛

۴- ارائه گزارشی از وضعیت کامیون‌ها و شاول‌ها در یک شیفت.

۴-۲ ملزومات سخت‌افزاری سیستم

در این سیستم تمام کامیون‌ها مجهز به یک بی‌سیم و یک *GPS* خواهند شد. اتاقکی در معدن برای این سیستم اختصاص داده خواهد شد که مرکز گسیل نام دارد. بی‌سیم مادر و کامپیوتری که نرم‌افزارهای *GPS* روی آن نصب شده‌اند در مرکز گسیل قرار خواهند گرفت. دو نفر به عنوان متصدی مرکز گسیل کار گسیل کامیون را انجام خواهند داد. متصدی مرکز گسیل در هر لحظه می‌تواند با تمام کامیون‌ها ارتباط داشته باشد و محل آنها را از روی صفحه مانیتور کنترل کند. کامیون‌ها نیز در هر لحظه می‌توانند با مرکز گسیل در ارتباط باشند. نرم‌افزارهای بسیار قدرتمندی موجودند که می‌توان روی کامپیوتر مرکز گسیل نصب کرد و محل سه بعدی *GPS*ها (کامیون‌ها) را در هر لحظه روی صفحه مانیتور دید. اگر عوارض زمین به دقت به این نرم‌افزارها داده شوند به راحتی می‌توان پیت معدن را به صورت سه بعدی در کامپیوتر داشت و کامیون‌ها در مسیرها به صورت سه بعدی و متحرک دیده خواهند شد.

۴-۳ ملزومات نرم‌افزاری سیستم

با جمع‌آوری داده‌های لازم و حل مدل حمل و نقل (در ادامه توضیح داده خواهد شد)، می‌توان مسیرهای بهینه و نرخ هر مسیر را به دست آورد. مدل یاد شده هر بار که محل شاول‌ها تغییر کند، شاولی خراب شود و یا نوع ماده تولیدی شاول عوض شود (باطله یا ماده معدنی) باید بعد از به روز کردن اطلاعات دوباره حل و مسیرهای بهینه و نرخ جدید آنها را دوباره محاسبه نماید.

برای گسیل لحظه‌ای کامیون‌ها در این مسیرها باید برنامه کامپیوتری نوشته شود که قادر باشد در هر لحظه کامیون‌ها را به طرف شاول مناسب ارسال کند. برنامه مذکور با گرفتن داده‌هایی چون تعداد کامیون‌ها، انواع کامیون‌ها، تعداد شاول‌ها، ظرفیت شاول‌ها و کامیون‌ها، مسیرهای بهینه، زمان مسافرت کامیون‌ها در این مسیرها، زمان بارگیری، زمان تخلیه و ... و با پردازش آنها (الگوریتم گسیل کامیون در ادامه توضیح داده خواهد شد) در هر لحظه شاول نیازمند را مشخص می‌کند و کامیون را به طرف شاول مورد نظر ارسال خواهد کرد. با مشخص شدن مقصد کامیون‌ها در هر لحظه، هر گاه کامیونی نیاز به گسیل داشته باشد (بعد از تخلیه) با بی‌سیم به متصدی مرکز گسیل اطلاع داده و وی با اجرای این برنامه مسیری که کامیون باید برود را به اطلاع راننده کامیون می‌رساند. با *GPS*های نصب شده بر روی کامیون‌ها در هرلحظه عملیات ترابری کنترل خواهد شد.

۴-۴ مدل برنامه‌ریزی حمل و نقل برای تخصیص کامیون

برای انتخاب مسیرهای بهینه و نرخ آنها از مدل برنامه‌ریزی حمل و نقل استفاده شده است. با حل این مدل نرخ‌هایی به مسیرها تعلق می‌گیرد و مسیرهایی که نرخ آنها صفر است از شبکه ترابری حذف می‌شوند و باقی مانده مسیرها که نرخ بالای صفر دارند به عنوان مسیرهای بهینه خواهند بود. در این مدل برای مسیرها نرخ تناژ بر زمان تعلق می‌گیرد (به دلیل یکدست نبودن ماشین‌آلات). برای تعیین نرخ مسیرها ابتدا باید مسیرهای رفت و برگشت را از هم جدا کرد.

۴-۴-۱ مسیرهای رفت

در این مرحله شاول‌ها به عنوان گره‌های عرضه و سنگ‌شکن، انباشتگاه و محل تخلیه باطله و ماده معدنی به عنوان گره‌های تقاضا در نظر گرفته می‌شوند و زمان حرکت کامیون‌ها بین این گره‌ها مطابق روابط زیر کمینه می‌شود:

$$Min \quad Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} x_{ij} t_{ij} \qquad (۱)$$

با محدودیت‌های:

$$x_{ij} \geq 0 \ , \ \sum_{j=1}^{m} x_{ij} = d_j \ , \ \sum_{i=1}^{n} x_{ij} = S_i \qquad (۲)$$

که در آن:

n تعداد نقاط بارگیری (شاول)؛

m تعداد محل‌های تخلیه؛

x_{ij} تن بر زمان ارسالی از شاول i به محل تخلیه j؛

t_{ij} زمان مسافرت کامیون از شاول i به محل تخلیه j؛

S_i میزان تولید شاول i؛

d_j میزان تناژی که محل تخلیه j پذیرا می‌باشد.

۴-۴-۲ مسیرهای برگشت

در این مرحله محل‌های تخلیه به عنوان گره‌های عرضه و شاول‌ها به عنوان گره‌های تقاضا در نظر گرفته شده و زمان مسافرت کامیون بین گره‌ها مطابق روابط زیر کمینه می‌شود:

$$Min \quad Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} t_{ij} \qquad (۳)$$

با محدودیت‌های:

$$x_{ij} \geq 0 \ , \ \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = S_j \ , \ \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = d_i \qquad (۴)$$

که در آن:

n تعداد نقاط بارگیری (شاول)؛

m تعداد محل‌های تخلیه؛

x_{ij} تن بر زمان ارسالی از محل تخلیه i به شاول j؛

t_{ij} زمان مسافرت کامیون از محل تخلیه i به شاول j؛

d_i میزان تناژی که محل تخلیه i پذیرا می‌باشد؛

S_j میزان تولید شاول j.

در صورتی که در معدن اختلاط داشته باشیم محدودیتی به محدودیت‌های مسیرهای رفت اضافه می‌شود. محدودیت مذکور به ترتیب زیر است[۵]:

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ij} \geq \alpha_j(0) \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \qquad (۵)$$

که در آن:

α_i اندیس کیفیت مواد در محل بارگیری i؛

$\alpha_i(0)$ حداقل اندیس کیفیت مواد مورد نیاز در محل تخلیه j.

۴-۵ الگوریتم گسیل کامیون

- تعیین نیازمندترین شاول

برای تعیین نیازمندترین شاول از روابط زیر استفاده می‌شود[۴]:

$$R_{ij} = {x_{ij}}/{T_{ij}} \qquad (۶)$$

$$R = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} R_{ij} \qquad (۷)$$

$$d_{ij} = R_{ij} - R \qquad (۸)$$

اگر $d_{ij} < 0$ $\Leftarrow$ شاول نیازمند

اگر $d_{ij} \geq 0$ $\Leftarrow$ شاول غیر نیازمند

$$y_{ij} = RT_{ij} - x_{ij} \qquad (۹)$$

که در روابط بالا:

R_{ij} نسبت متوسط متداول؛

x_{ij} تناژ تجمعی لحظه‌ای مسیری که شاول i را به محل تخلیه jوصل می‌کند؛

T_{ij} تناژ بر شیفت مسیری که شاول i را به محل تخلیه jوصل می‌کند؛

R تناژ ایده‌آل مسیرها؛

d_{ij} انحراف از ایده‌آل مسیری که شاول i را به محل تخلیه jوصل می‌کند؛

y_{ij} تناژ مورد نیاز مسیری که شاول i را به محل تخلیه j وصل می‌کند.

پس بدین ترتیب با نوشتن برنامه‌ای که هر لحظه با الگوریتم فوق نیازمندترین شاول را انتخاب می‌کند می‌توان کامیون را به شاول مورد نظر گسیل کرد. البته شرایطی بر این برنامه باید حاکم باشد تا به درستی عمل گسیل را انجام دهد. شرایط مذکور به شرح زیر می‌باشند:

۱- با سازگار کردن کامیون‌ها و شاول‌ها، کامیون‌ها باید به شاول‌هایی که با آنها سازگار هستند گسیل شوند.

۲- با حل مدل برنامه‌ریزی حمل و نقل برای تخصیص کامیون به شاول‌ها، بعضی از مسیرها حذف می‌شوند و در نتیجه از بعضی نقاط تخلیه نمی‌توان کامیون را به بعضی شاول‌ها ارسال کرد که باید در برنامه گسیل لحاظ شود.

۳- به دلیل یکدست نبودن ماشین‌آلات معادن ایران، به مسیرها تناژ اختصاص داده شده و کامیون‌ها بر این اساس گسیل می‌شوند و در تمام مراحل روابط بر اساس تناژ خواهد بود نه تعداد کامیون.

۴- در صورتی که همزمان دو مسیر نیازمند انتخاب شود، در این صورت کامیون به طرف شاولی که از طرف کارخانه کانه‌آرایی تأکید شده است ارسال می‌شود و اگر تأکیدی از طرف کارخانه کانه‌آرایی نباشد، کامیون به شاولی ارسال می‌شود که تولید در شیفت بالایی دارد و اگر میزان تولید نیز مساوی بود، کامیون به صورت انتخابی به یکی از شاول‌های نیازمند گسیل خواهد شد.

۵- مسأله بسیار مهمی که باید مد نظر قرار گیرد زمان است. در برنامه باید زمان گسیل کامیون ثبت شود و در صورت گسیل دوباره کامیون به همان مسیر باید به صورت زیر عمل کرد:اگر

$$t_2 + (T_2 - T_1) \geq t_1 + C_l \qquad (۱۰)$$

که در آن:

t_2 زمان طی مسیر با کامیون دوم که قرار است گسیل شود؛

t_1 زمان طی مسیر با کامیون اول که گسیل شده است؛

T_2 زمان گسیل کامیون دوم (لحظه گسیل)؛

T_1 زمان گسیل کامیون اول (لحظه گسیل کامیون قبلی)؛

C_l زمان سیکل بارگیری کامیون اول؛

می‌باشند، کامیون به مسیر فوق گسیل شود و در غیر این صورت، یعنی:

$$t_2 + (T_2 - T_1) < t_1 + C_l \qquad (۱۱)$$

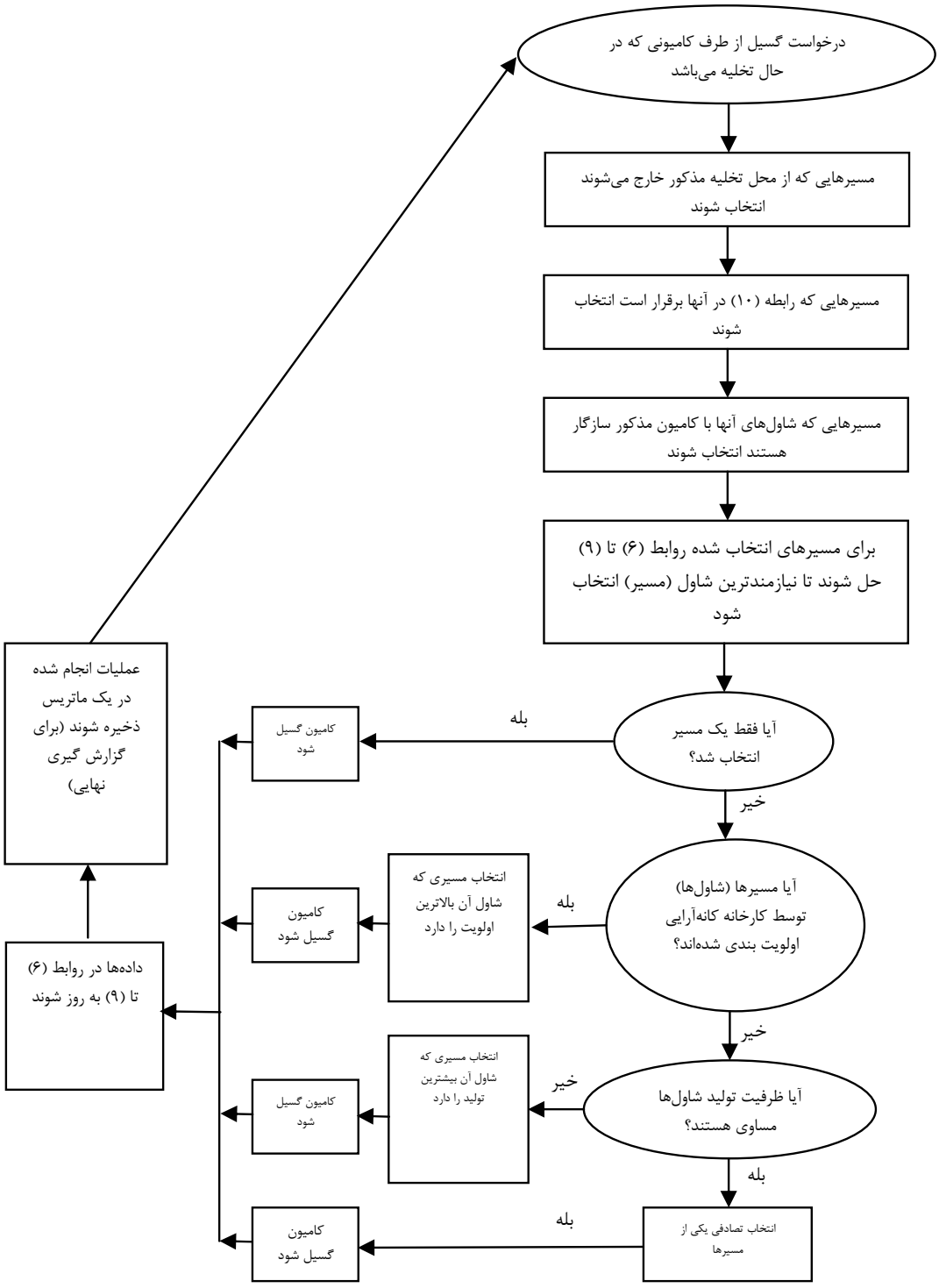
کامیون نباید به این مسیر گسیل شود.

۶- تمام عملیات انجام شده در جدولی باید ذخیره شود تا در نهایت بتوان از عملیات گزارش تهیه کرد.

با توجه به الگوریتم گسیل و شرایط آن فلوچارت صفحه بعد (شکل۱) ارائه می‌شود.

۵ - نتیجه‌گیری

با توجه به هزینه بسیار زیاد ترابری در معادن روباز و همچنین سیستم کاملاً غلط گسیل کامیون در معادن بزرگ ایران، می‌توان با راه‌اندازی سیستم‌های پیشرفته گسیل کامیون در معادن هزینه‌ها را به میزان بسیار زیاد پایین آورد و در نتیجه قابلیت سودآوری را افزایش داد. تجربه نشان داده است که با راه‌اندازی سیستم‌های گسیل انعطاف پذیر در معادن تولید افزایش و تعداد کامیون‌های لازم کاهش می‌یابد. در ایران هیچ کدام از این سیستم‌ها حتی آزمایش هم نشده‌اند و به همین دلیل آزمایش و راه‌اندازی سیستم نیمه اتوماتیک گسیل لحظه‌ای کامیون ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۱- فلوچارت الگوریتم گسیل لحظه‌ای کامیون به نیازمندترین شاول

۶ منابع

[1]Stephane Alarie and Michel Gamache ,(2002),"Overview of Solution Strategies used in Truck Dispatching Systems for Open pit Mines", International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment, Vol. 16, No. 1, pp 59-76.

[۲] ستاروند، جواد، (۱۳۷۷)، "کاربرد تحقیق در عملیات در بهینه سازی ترابری معادن روباز"، سمینار کارشناسی ارشد دانشکده معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[۳] طاهرزاده، امیرعلی، (۱۳۷۹)، "بهینه سازی سیستم ترابری معدن سنگ آهن چادرملو"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[4] Victor A. Temeng, Francis O. Otuonye & James O. Frendewey, (1996), "Real-time dispatching using a transportation algorithm", International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment, pp 203-207.

[۵] سکاکی، سید حمید، (۱۳۷۳)، "الگوهایی برای بهینه سازی عملیات بارگیری و حمل در معادن روباز"، سمینار کارشناسی ارشد دانشکده صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[6]V. Sgurev, V. Vassilev, N. Dokev, K. Genova, S. Drangajov, Ch. Korsemov and A. Atanassov , (1989), "TRASY-An automated system for real time control of industrial truck haulage in open pit mines", European Journal of Operation Research, No 43, pp 44-52,

[۷] عاصی، بهاره، (۱۳۸۳)، "بهینه سازی سیستم حمل و نقل معدن مس سونگون اهر"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده معدن دانشگاه تربیت مدرس.