



دانشکده ریاضی و علوم رایانه
دانشگاه علامه طباطبائی

مقاله‌ی درس سمینار

مروری بر مسائل مدل سازی خودروهای خودران **AGV**

توسط:

امیررضا تقی زاده

استاد درس:

دکتر حسن رشیدی

مروری بر مسائل مدل سازی خودروهای خودران AGV

امیررضا تقی زاده*حسن رشیدی*

*دانشکده آمار، ریاضی و رایانه، دانشگاه علامه طباطبائی

چکیده

در چند قرن اخیر، تحقیقات بسیاری به مطالعه‌ی سخت افزار و نرم افزار خودروهای خودران^۱ AGV اختصاص داده شده است. امروزه، این خودروها جهت جابه‌جایی مواد اولیه، کالاها و کانتینرها مورد استفاده قرار گرفته و راهکارهای کارا و انعطاف‌پذیری را به ارمغان می‌آورند. این مقاله به مرور مطالعات صورت گرفته در ارتباط با AGVها در صنایع تولیدی و همچنین سیستم‌های حمل و نقلی در بنادر می‌پردازد. ثمره‌ی این پژوهش، چندین نتیجه و چالش مهم در ارتباط با استفاده، مدل‌سازی مسائل و راه حل‌ها می‌باشد. اولین چالش، اجرای مدل شبیه‌سازی جهت مدیریت چندین چینش^۲ هم در پایانه‌های کانتینری و هم در سیستم‌های تولیدی می‌باشد. دومین چالش، به کارگیری تکنولوژی‌های جدید در AGVها می‌باشد که در نسل ۴.۰ صنعت مورد استفاده می‌باشند. سومین چالش، مربوط به راهبردهای مسیریابی پویای خودروها بر اساس شبیه‌سازی دولایه است. چهارمین چالش مربوط به توسعه‌ی الگوریتم‌های کاربردی با کارایی بیشتر برای مسائل گوناگون مسیریابی AGVها است.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی خودروهای خودران، حمل و نقل، سیستم‌های تولیدی انعطاف پذیر، اتوماسیون بنادر.

۱. مقدمه

در چند دهه‌ی گذشته، تحقیقات بسیاری به خودروهای خودران AGV اختصاص داده شده است. امروزه، این خودروها به دلیل داشتن توانایی در جابه‌جایی تجهیزات، کالاها و کانتینرها، بسیار رایج شده‌اند. خودروهای AGV راه‌حل‌های کارا و انعطاف‌پذیری را برای سیستم‌های تولیدی و حمل و نقل به ارمغان می‌آورند. در ادامه، به مرور برخی از فواید و زیان‌های استفاده از AGVها می‌پردازیم.

۱.۱ فواید استفاده از AGVها

اتوماسیون و استفاده از رایانه‌ها، تاثیرات قابل توجهی را در سیستم‌های گوناگون داشته است. یکی از این سیستم‌ها، سیستم حمل و نقل

میباشد که نقشی اصلی و یاری‌رساننده در جابه‌جایی دارد. در همین راستا، سیستم حمل و نقل، نقش به‌سزایی در دگرگونی‌های اجتماعی و اقتصادی هر کشور دارد. یکی از ابزارات پیشرفته‌ی تکنولوژی در این حوزه، خودروهای AGV است. (Akturk, ۱۹۹۶)

خودروهای AGV اغلب برای توسعه و متنوع ساختن سیستم حمل و نقل استفاده می‌شوند. (Broadbent, ۱۹۸۵) آنها به طور معمول برای عملیات‌های تولیدی به کار می‌روند؛ اما اخیراً شهرت آنها در بسیاری از حوزه‌ها همچون حمل کالاها یا کانتینرها در بنادر و هم-چنین در مناطق ذخیره سازی، افزایش یافته است. این خودروها بدون راننده هدایت شده و به طور گسترده، در حال تبدیل به یکی از استانداردها در زمینه‌ی حمل کالا و کانتینر در اتوماسیون بنادر می‌باشند. علاوه بر این، به دلیل شهرت روزافزون این خودروها، می‌توان

¹ Automated guided Vehicles

² layout

آنها در محیط‌های تولیدی جهت جابه جایی مواد و لوازم نیز مشاهده نمود. برخی از فواید کلی استفاده از این خودروهای خودران در ادامه آمده است:

- **خودروهای خودران AGV باعث کاهش هزینه‌ی نیروی کار می‌گردد:** افزایش بهره‌وری و کارایی مهم‌ترین هدفی است که هر کسب و کاری که تمایل به موفقیت دارد، آن را دنبال می‌کند. خودروهای AGV می‌توانند جهت دستیابی به این مهم در بلند مدت موثر واقع شوند. دلیل این امر آن است که این خودروها قابل اطمینان و مقرون به صرفه می‌باشند. این خودروها در طول روز خسته نمی‌شوند و نیازی به استراحت نیز ندارند. از دقت بالایی برخوردار بوده و از آنها می‌توان جهت انجام کارها مکرر و پی در پی بهره برد؛ بدون اینکه آسیب جسمی ببینند یا به هر طریقی برای انسان‌ها خطر آفرین باشد.
- **رشد چند بخشی^۳:** خودروهای AGV می‌توانند در مقیاس‌های کوچک با تعداد کم استفاده شوند ولی چون تقاضا افزایش می‌یابد، تعداد بر حسب این تقاضا نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه هرگاه که سیستم به آنها نیاز داشته باشد، عملکردشان یا افزایش یا کاهش می‌یابد. همینطور، زمان مورد نیاز برای پیاده‌سازی این تغییرات، میزان جریان عملیاتی را در سیستم افزایش می‌دهد. چنانچه نیاز باشد، AGVها می‌توانند شامل متعلقات روباتی باشد که می‌تواند راهی مقرون به صرفه برای ورود به تکنولوژی‌های پیشرفته‌تر باشد.
- **امنیت و قابل پیش بینی بودن:** AGVهایی که به سادگی قابل کنترل هستند، هنوز به عنوان یک راه امن جهت جابه‌جایی و توزیع کالاها در سیستم‌های انبار داده^۴ می‌باشند. AGVها به گونه‌ای طراحی و نصب می‌شوند که به دور از نیروی کار، کارهایشان را به پایان رسانند. این ویژگی، نگرانی‌های امن بودن این دستگاه‌ها را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. آنچه که باعث می‌شود تا این خودروها مفید واقع شوند، توانایی آنها در به کار گرفته شدن در محیط‌هایی است که دماهای زیاد رایج است و یا نیاز به حمل بارهای سنگین می‌باشد. استفاده از این خودروها در چنین شرایطی باعث کاهش ریسک صدمه به کارمندان می‌شود.
- **کاهش خطر عفونت:** این مورد یکی از آخرین فواید استفاده (یا حداقل موردی که صنایع به آن فکر می‌کنند) از خودروهای

AGV می‌باشد. پس از وقوع همه‌گیری کووید-۱۹ تمامی کارخانه‌دارها و مدیران دارایی، نسبت به انتقال بیماری‌های کارگران نگران شده‌اند. از آنجایی که انسان‌ها یک راه موثر برای انتقال عفونت می‌باشند، کاهش تعداد کارگران و کارمندان، خطر ابتلا را کاهش خواهد داد. استفاده از AGV به جای کارکنانی که ارزشی را به محیط کار اضافه نمی‌کنند، تضمین کننده پیوستگی عملیات در هنگام قرنطینه یا محدودیت‌های تردد اجتماعی می‌باشد.

- **کاهش آلودگی هوا:** در بنادر کانتینری و پالایشگاه‌های صنعتی؛ کشتی‌ها، کامیون‌ها و دیگر وسایلی که با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند، یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد آلودگی می‌باشند. استفاده از AGVها در این محیط‌ها تاثیر به‌سزایی در کاهش آلودگی دارد. (Edrissi A., ۲۰۱۹)

۲.۱ ضررهای ناشی از استفاده از AGVها:

با اینکه استفاده از AGVها به نظر راه حلی مناسب در بسیاری از حوزه‌های مختلف صنایع می‌باشد، استفاده از این خودروها دارای ضرر-هایی نیز می‌باشد. مهم‌ترین این زیان‌ها به طور مختصر در ادامه شرح داده شده اند:

- **هزینه اولیه‌ی بالا:** برای هر سیستمی که تمایل به سرمایه‌گذاری در یک تکنولوژی را دارد، هزینه مالی اولیه می‌تواند یک مانع بزرگی بر سر راه سیستم باشد. میزان بازگشت‌های سرمایه اولیه در دراز مدت باید با خریدهای اولیه متعادل باشند و توسط هزینه‌های کم نیروی کار خنثی گردند. در طول این بازه‌ی دریافت سرمایه‌ی اولیه، یک سیستم می‌تواند از هزینه‌های اضافی جهت نگهداری اطمینان حاصل کند. هیچ دستگاهی کامل نیست و هر هزینه مازادی باید موثر در هنگام رخداد یک از کارافتادگی یا اختلال هنگام یک عملیات، باشد.
- **نیازهای بسترها:** افزایش استفاده از AGVها بسیار وابسته به سیستم است؛ بدین معنی که سیستم باید توانایی بیشینه‌سازی نقاط قوت مرتبط با AGVها را افزایش دهد. استفاده‌ی AGVها زمانی افزایش می‌یابد که آنها کارهای تکراری انجام دهند ولی اگر بستر آن جهت استفاده مهیا نباشد، سیستم نمی‌تواند از این سرمایه گذاری سودی کسب کند.

^۵<https://www.who.int/europe/emergencies/situations/covid-19>

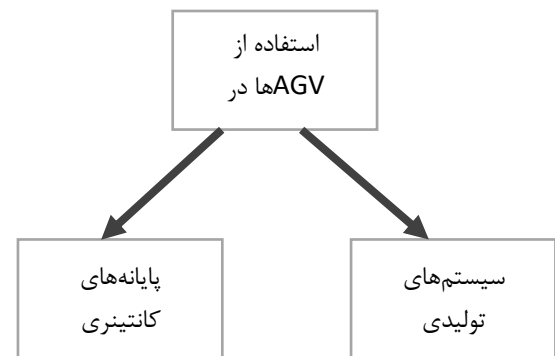
^۳ Modular growth

^۴ Warehouse

- نبود انعطاف پذیری: اگر مسیر حرکت یک AGV با مشکلات پیش بینی نشده سریعاً تغییر کند، زمان قابل توجهی نیاز خواهد بود که AGV خاموش گردد و دوباره جهت وفق داده شدن با جریان کار، زمان بندی شود. در بهترین حالت، مرکز توزیع به خوبی یک ماشین روان کار خواهد کرد ولی تقاضای متغیر و سریع از انبار داده بدین معنی است که مرکز باید به سرعت عکس العمل نشان دهد. اگر چرخه‌ی کاری AGV متناسب با تغییرات سریع و منظم در عملیات‌ها باشد، می‌تواند گزینه‌ی مناسبی هنگام خرید لوازم در کارخانه‌ها باشند. دو مسأله‌ی بسیار مهم در حوزه خودروهای AGV، زمان بندی و مسیریابی می‌باشند که برای هر دو باید الگوریتم‌های بهینه، توسعه داده شوند. (Qiu, Routing AGVs by Sorting, ۲۰۰۰)

۳.۱ مسائل مرتبط با AGV ها

اولین مسأله زمان بندی^۶ AGV می‌باشد که شامل اختصاص دادن خودروها جهت ارسال به نقاط مختلف با توجه به یک جدول زمانی^۷ جهت کمینه کردن هزینه‌ی کل سفر است. هر سفر در جدول زمانی باید توسط یک خودرو کامل گردد. به یک خودرو نمی‌تواند بیش از یک سفر در یک زمان اختصاص داد. به طور معمول، ما تمایل داریم که درخواست‌ها را با شیفت‌ها و مسیرها ترکیب کنیم تا محدودیت‌های سرویس رسانی به روندهای تجاری ارضا شوند و هزینه‌های کل نیز کمینه گردند. در جهان امروز، انجام این فرآیند به صورت دستی بسیار سخت و پیچیده می‌باشد. یکی از بخش‌های اصلی در برنامه‌ریزی در هر سیستم حمل و نقلی، تولید یک جدول زمانی بهینه است.



شکل ۱ رده‌ی استفاده از AGV ها در خشکی

دومین نوع از مسائل مرتبط با خودروها شامل مسیریابی^۸ خودروها می‌باشد و به اختیار معروف به مسئله‌ی VRP^۹ است. مسأله‌ی VRP یک مسأله‌ی NP-Hard می‌باشد. این مسئله حاوی رده‌های بسیاری می‌باشد. (Hasama, ۱۹۹۸) (Toth, ۲۰۰۳) (Dondo, ۲۰۰۳) (Tan, ۲۰۰۰) (Gribkovskaia, ۲۰۰۲) (Shih, ۲۰۰۱) (Ghannadpour, ۲۰۱۷)

هسو و هوآنگ (۱۹۹۴) مسأله‌ی مسیریابی برای عملیات‌های مقدماتی بر روی توپولوژی‌های راه‌های خاص مطالعه نمودند. (Hsu, ۱۹۹۴) این راه‌ها به صورت ستاره، حلقه، چینش خطی، H-شکل، بافت دوبعدی^{۱۰}، دورهای مکعبی شکل، n-مکعبی و گراف‌های کاملاً همبند می‌باشند. جهت تعیین نمودن نیروی محاسباتی و حافظه استفاده شده برای حل VRP در این پژوهش، پیچیدگی محاسباتی $O(n^2)$ در نظر گرفته شده است و پیچیدگی فضای مورد نیاز نیز $O(n^3)$ است. در اینجا n تعداد یال‌ها در مدل گرافی شبکه هاست.

۴.۱ انگیزه‌ی تحقیق و ساختار گزارش

انگیزه‌ی اصلی این پژوهش، مرور مسائل زمان بندی و مسیریابی AGV ها می‌باشد. ساختار بخش‌های بعدی این پژوهش به این ترتیب می‌باشد: بخش دوم به مرور ادبیات به کار رفته شده در حوزه اتوماسیون بنادر و جابه‌جایی توسط خودروهای AGV پرداخته خواهد شد. بخش ۳ نتایج اصلی مقالاتی که مطالعه شده اند، مطرح می‌گردد. بخش ۴ نیز چالش‌های استفاده‌ی بیش از اندازه از AGV ها سیستم-های مختلف را مورد مطالعه قرار می‌دهد. در بخش آخر نیز به ارائه‌ی خلاصه و نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

۲. مرور ادبیات

AGV ها وسایلی هستند که علامت‌ها یا سیم‌کشی‌ها^{۱۱} یا لیزرهای راهنمای مسیر هستند را دنبال می‌کنند. این خودروها، تاسیسات تولیدی را اتوماسیون می‌نمایند و به همین جهت به صورت خودکار تولید را افزایش و هزینه‌ها را نیز کاهش می‌دهند. در این فصل، آخرین تحقیقات انجام شده در حوزه استفاده از AGV ها روی زمین، نقد و بررسی می‌شوند. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که استفاده‌ی اصلی از AGV ها در اتوماسیون بنادر برای منتقل کردن خودکار کانتینرها و

^۹ Vehicle Routing Problem

^{۱۰} Two-Dimensional-Mesh

^{۱۱} wirings

^۶ Scheduling

^۷ Timetable

^۸ Routing

سیستم‌های تولیدی جهت جابه‌جایی انعطاف‌پذیر مواد، می‌باشد. (همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد).

۱.۲ استفاده از AGV ها در ترمینال کانتینری

ترمینال‌های کانتینری در جهان، نقش‌های بسیاری در اقتصاد یک کشور دارند. برای داشتن یک ترمینال کانتینری خودکار، طراح ترمینال باید از AGV ها جهت انتقال کانتینرهای داخل ترمینال استفاده کند. در این بخش، آخرین دست‌آوردهای محققان در زمینه استفاده از AGV ها در ترمینال‌های کانتینری، مرور می‌گردند.

مطالعه‌ای موردی در بندر Pusan در یک پژوهش انجام شده و دو قانون توزیع مختلف برای AGV ها ارائه گردیده است. اولین قانون توزیع انحصاری^{۱۲} و قانون دوم نیز توزیع گروهی نامیده شدند. (Wook, ۲۰۰۰) در قانون توزیع انحصاری، به هر AGV فقط یک جرثقیل کنار اسکله‌ای (QC) اختصاص یافت، در حالیکه در قانون توزیع گروهی، بیش از یک QC جهت انجام دادن کارها اختصاص یافت. در هر دو قانون توزیع، یک سری هدف وجود داشت. اولین هدف این بود که توزیع AGV ها به گونه‌ای باشد که تمام کارها در ارتباط با کانتینرها، اعم از تخلیه و بارگیری، تا حد ممکن، به سرعت انجام شوند. در دومین هدف، تابع هدف^{۱۴} مسئله بهینه‌سازی کمینه‌سازی مسافت طی شده توسط AGV در نظر گرفته شده بود. در این تحقیق، دو مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح^{۱۵} طراحی شده است و سپس مدل نیز با استفاده از برنامه کامپیوتری LINDO حل گردیده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که رویکرد PD بهتر از DD عمل نموده است.

در پژوهش دیگری، مساله‌ی حمل و نقل کانتینرها بین اسکله^{۱۶} و محوطه‌ی کانتینری^{۱۷} با استفاده از جرثقیل‌های پشته‌ای^{۱۸} (SC) و جرثقیل‌های اسکله‌ای (QC) بررسی گردید. (Böse, ۲۰۰۰) در این پژوهش؛ هدف، کاهش زمان سپری شده‌ی کشتی‌ها به وسیله‌ی بهینه‌سازی بهره‌وری از QC بود. نویسندگان یک نگرش زمان‌بندی برای جابه‌جایی از SC ها به QC ها را مورد آزمایش قرار دادند. انگیزه‌ی

استفاده از این نگرش، کمینه‌سازی زمان بازگشت به یک کشتی بود. این نگرش، یک توزیع گروهی^{۱۹} SC و پویا بود. در این نگرش، یک استراتژی پویا بود و برای تعدادی از QC ها نیز، تعداد از پیش تعیین شده‌ای از SC می‌توانست کار حمل و نقل را به سرانجام رساند. بر اساس تعداد تخلیه و بارگیری کانتینرها، SC ها می‌توانستند در حالت دور دوگانه^{۲۰} متحرک شوند. در این حالت، سفر خالی با وظیفه‌های کانتینری برای بقیه‌ی QC ها جایگزین شدند. این تحقیق دو نوع شرایط متفاوت مرتبط با توزیع گروهی SC ها را مورد بررسی قرار داد: تخصیص نیمه پویا (SDA)^{۲۱} و تخصیص کاملاً پویا (FDA)^{۲۲}. در SDA تعداد مشخصی SC به QC ها برای فقط یک کشتی باری^{۲۳} اختصاص داده شد؛ ولی در رویکرد FDA این تعداد به همه‌ی کشتی‌ها اختصاص داده شده‌اند. مسائل توسط یک الگوریتم تکاملی^{۲۴} به کمک شبیه‌سازی^{۲۵} در این پژوهش، حل گردیدند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تعداد کانتینرها در هر دنباله‌ای از کارها در رویکرد FDA نقش به‌سزایی در هنگامی که دستگاه‌های حامل در حالت چرخه دوگانه، فعالیت می‌کنند، ندارد.

یک تحقیق دیگر نیز مساله‌ی زمان بندی یکپارچه‌ی AGV ها و جرثقیل‌های QC و جرثقیل‌های دروازه‌ای^{۲۶} (RTGC) مورد بررسی قرار گرفت. هدف این تحقیق، کمینه کردن بازه زمانی مورد برای تکمیل نمودن زمان‌بندی در ترمینال‌های خودکار بود. نویسندگان دو الگوریتم برای مساله‌ی زمان‌بندی (یکی بر اساس روش شاخه و کران^{۲۷} و دیگری بر اساس الگوریتم جستجوی پرتوی ابتکاری^{۲۸}) مطرح نمودند. در این تحقیق، نتایج بسیاری از قوانین تقسیم کارها و الگوریتم ابتکاری تحت سناریوهای مختلف، مقایسه گردیدند. نتایج تجربی نشان داد که هر دو الگوریتم با عملکردی مشابه جوابی نزدیک به جواب بهینه در زمانی منطقی، پیدا نمودند. در این مطالعه همچنین نشان داده شد که یک چینش بر پایه افق زمانی دراز مدت با داده‌های نادقیق، اغلب گزینه‌ی مناسبی است تا جهت برنامه‌ریزی برای داده‌های جدید موجود در نظر گرفته شود.

یک تحقیق دیگر مسائل زمان بندی و مسیر یابی AGV ها را بررسی نمود و نتایج، تحت دو مقاله منتشر گردیدند. (Qiu, (Qiu, ۲۰۰۱)

²¹ Semi-dynamic assignment

²² Fully dynamic assignment

²³ Vessel

²⁴ Evolutionary algorithm

²⁵ simulation

²⁶ Rubber tyred Gantry Cranes

²⁷ Branch and bound algorithm

²⁸ Beam search heuristic

¹² Dedicated-dispatching (DD)

¹³ Quay Crane

¹⁴ Objective function

¹⁵ Integer programming

¹⁶ Quay-side

¹⁷ Yard-side

¹⁸ Stacking Cranes

¹⁹ SC-pooling

²⁰ Double Cycle

(۲۰۰۰) در این مقالات، دو توپولوژی مسیر با دو استراتژی زمان بندی مطرح شده و یک الگوریتم مسیر یابی بدون تداخل^{۲۹} نیز پیشنهاد گردیده است. الگوریتم و استراتژی‌ها در یک مطالعه موردی، جهت کمینه کردن فضای مورد نیاز برای مسیرها، استفاده گردید. جهت ساخت مسیرهای بدون تداخل با یکدیگر، یک شرط بحرانی برای پارامترهای خاص پایه‌ای مسیر و AGVها فرض شد. میزان موثر بودن مسیرها بر اساس هم فاصله پیموده شده و هم زمان انتظار مورد بررسی قرار گرفت. علت این بررسی برای انجام کارها تخلیه و بار زدن بود. این تحقیق هم چنین از لحاظ نظری نشان داد که با وجود اینکه زمان رسیدن به جواب مسیریابی ثابت بود ولی هم روندی^{۳۰} حرکت AGVها می‌توانست افزایش یابد.

در یک تحقیق دیگر نیز یک الگوریتم چینش متبحرانه^{۳۱} جهت ارسال AGVها (Leong, ۲۰۰۱) با هدف کمینه‌سازی زمان تخلیه و بارگیری برای یک کشتی انجام شد. پس از این پژوهش، Gebraeel و همکاران (۲۰۰۱) و بعد Moorthy و همکاران (۲۰۰۳) بر روی مساله‌ی مسیریابی بدون بن‌بست برای AGVهای در بنادر تحقیق نمودند (Moorthy, ۲۰۰۳) این تحقیق بر اساس رویکرد موقوف و ادامه دادن^{۳۲} می‌باشد. نویسنده یک الگوریتم جهت پیش‌بینی و اجتناب از بن‌بست ارائه نمود. نتایج به کارگیری الگوریتم برای یک منطقه در بندر سنگاپور با رویکرد موجود در آن منطقه، مقایسه گردید. نتایج شبیه سازی و تحلیل‌ها، نشان داد که الگوریتم، بهبودهایی از نظر میزان ظرفیت بندر، به همراه داشت.

یک پژوهش دیگر جهت مطالعه بر روی الگوریتم‌های زمان‌بندی و مسیریابی AGVها انجام گردید (Qiu, ۲۰۰۲) و الگوریتم‌های موجود را طبقه‌بندی نمود. این الگوریتم‌ها به گروه‌هایی بر اساس جواب، تقسیم‌بندی شدند. گروهی از آنها بر اساس جواب‌ها به مسائل با توپولوژی مسیری خاص و کلی، گروه بندی شدند و برخی دیگر بر اساس جواب مسائل بهینه‌سازی مسیر و زمان بندی. هم‌چنین، این تحقیق نشان داد که چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی بین برنامه‌ریزی AGVها و مسیریابی و دیگر مسائل درون مرتبط^{۳۳} همانند مساله کوتاه‌ترین مسیر^{۳۴} وجود دارند.

یک پژوهش دیگر نیز تعداد مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح را مورد بررسی قرار داد. این مدل‌ها جهت انتقال تعدادی کانتینر از محل اسکله

به محوطه‌ی کانتینری توسط خودروهای محموله‌ای طراحی گردیدند. (Zhang, ۲۰۰۲) در این مدل‌ها، تعداد بسیاری محدودیت‌های سخت^{۳۵} جهت بررسی دنباله‌ای از خودروهای حمل کانتینر، وجود دارند. در این پژوهش، تعدادی الگوریتم ابتکاری جهت حل مدل‌ها طراحی گردیده است. به وسیله فرمول‌بندی دومین مدل به عنوان دوگان مساله‌ی ریلکس شده‌ی لاگرانژی^{۳۶}، یک کران پایین برای تابع هدف این مدل به دست آمد. الگوریتم‌های ابتکاری برای یک بندر مجازی با ابعاد واقعی، استفاده شد و نتایج عددی آن گزارش گردید. طبق این نتایج، نویسندگان یک فرمول بندی را توسعه دادند که می‌تواند به تصمیم‌گیری بر روی تعداد بهینه‌ی خودروهای حمل کانتینری، کمک کند.

یک تحقیق دیگر، مساله‌ی ارسال AGVها در بنادر کانتینری را بررسی نمود. (Cheng, ۲۰۰۳) نویسندگان، مساله را به عنوان یک مساله‌ی جریان شبکه جهت کمینه کردن زمان انتظار AGV در لنگرگاه^{۳۷} فرمول بندی نمودند. در این مدل، AGVهایی که یک یا دو کانتینر حمل می‌کردند در محدودیت‌های مساله در نظر گرفته شدند. این تحقیق منجر به توسعه‌ی یک الگوریتم ابتکاری گردید و به عنوان یک شبیه سازی برای AGVهای تک ظرفیتی، مورد تست قرار گرفت. نتایج تجربی و محاسباتی حاکی از برخی بهبودی‌ها در مقایسه با روش استفاده شده در بندر سنگاپور، بود.

در یک تحقیق دیگر به بیان مساله‌ی ارسال AGVهایی که چندین بار را حمل می‌کنند، پرداخته شد. در این تحقیق فرض شده است که AGV در ترمینال‌های کانتینری خودکار با درجه اتوماسیون بالا، قرار دارند. (Grunow, ۲۰۰۴) در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی (MILP)^{۳۸} طراحی گردید. برخی قواعد اولویت‌دار^{۳۹} جهت انتقال کارهای کانتینری داخل ترمینال‌های کانتینری، تهیه گردید. عملکرد مدل MILP و قواعد اولویت دار تحت سناریوهای مختلف همچون تاخیر کل خودروها، مورد بررسی قرار گرفت. در طی ارزیابی MILP، یک شبیه سازی نیز جهت ارزیابی رویکرد قواعد اولویت‌دار برای خودروهایی با یک یا دو کانتینر تخصیص داده شده، انجام گرفت. نتایج عددی و تجربی عملکرد MILP را در مقابل قواعد اولویت دار نشان داد.

³⁵ Hard constraints

³⁶ The lagrangian relaxation dual

³⁷ berth

³⁸ Mixed-integer programming

³⁹ Priority rules

²⁹ Conflict-free-routing

³⁰ Concurrency

³¹ Proficient dynamic arrangement algorithm

³² Suspend-and-resume

³³ interrelated

³⁴ Shortest path problems

توسط خودشان را دارند. این تحقیق، فضای مورد نیاز برای حافظه‌ی موقت^{۴۵} در محوطه کانتینری و اسکله، مورد مطالع قرار گرفت. در این تحقیق هم‌چنین چگونگی ارسال‌های آتی ALV ها با استفاده از اطلاعات بارگیری و تخلیه بار ذخیره شده، مورد بررسی قرار گرفت. یکی مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی (MIPM)^{۴۶} جهت تخصیص دریافت بهینه و به موقع بارها تهیه گردید و توسط برنامه کامپیوتری ILOG حل شد. این تحقیق یک روش برای تبدیل محدودیت‌های حافظه موقت به محدودیت پنجره زمانی^{۴۷} و همین‌طور یک روش ابتکاری جهت کاهش زمان محاسبه‌ی حل MIPM مطرح گردید. آزمایش عددی جهت مقایسه‌ی مقدار تابع هدف و زمان محاسبه‌ی روش ابتکاری با الگوریتم‌های موجود در ILOG انجام گردید. این تحقیق هم‌چنین، تاثیر تعداد ALV ها بر حالت چرخه‌ی دوگانه‌ی عملیات و ظرفیت حافظه‌ی موقت را بررسی نمود.

در یک پژوهش دیگر، سه راه حل برای مساله‌ی تک محموله‌ای^{۴۸} و چند محموله‌ای^{۴۹} در پایانه‌های کانتینری مطرح گردید. (Rashidi, H. a., ۲۰۱۰) مساله در این تحقیق به صورت یک مساله‌ی بهینه‌سازی ارضای محدودیت‌ها (CSOP)^{۵۰} فرمول بندی شد. اگر خودروها تک محموله‌ای باشند، مساله به صورت یک مساله‌ی کمترین جریان هزینه فرمول‌بندی می‌شود. این مدلی توسط الگوریتم نوین با عملکرد بالا NSA، حل گردید. هنگامی که ظرفیت خودروها به صورت چند محموله‌ای است، جواب شدنی^{۵۱} بسیار بزرگ خواهد بود و مساله با یک شبیه ساز تبرید (SAM^{۵۲}) حل می‌گردد. در این پژوهش، سه استراتژی جهت پیدا نمودن جواب آغازین برای SAM طراحی و پیاده‌سازی گردید. این استراتژی‌ها مخصوص زمانی می‌باشند که اجرای SAM آغاز شده باشد. در هنگام تکرارهای SAM، یک تابع همسایگی، که براساس یک تابع تغییر کرده^{۵۳} برای SAM و مساله، استفاده گردید. سومین جواب پیشنهادی، ترکیبی از NSA و SAM می‌باشد. این جواب ترکیبی بر روی ظرفیت‌های ناهمگن^{۵۴} خودروها اعمال گردید. در شبیه سازی انجام شده، بسیاری از مسائل یکسان تصادفی نیز توسط روش SAM با رویکردهای گوناگون، حل گردیده و سپس نتایج با یکدیگر مقایسه شدند.

در یک تحقیق دیگر نیز، یک سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS)^{۴۰} طراحی گردید که در آن یک رویکرد یکپارچه جهت انجام عملیات‌های مختلف در بندرها، پیشنهاد گردید. (Murty, ۲۰۰۷) در این تحقیق، بر روی سیستمی تمرکز شده است که به عدم قطعیت در شرایط مختلف حین عملیات و تغییر در کارها کانتینری، عکس العمل کافی نشان می‌دهد. یک جزء از DSS حداقل تعداد خودروها مورد نیاز را مشخص نموده و تعداد خودروی مورد نیاز هر ۳۰ دقیقه در طول کل روز را تخمین می‌زند. در انتهای هر بازه‌ی زمانی که جهت برنامه‌ریزی سپری می‌گردد، سیستم از آخرین اطلاعات برای بازه زمانی بعدی استفاده می‌نماید. پس از هر عملیات در بنادر در شبیه‌سازی‌ای که از بندر هنگ کنگ انجام گردید؛ تحقیق نشان داد که میزان کار می‌تواند توسط با دقت منطقی در طور زمان، تخمین زده شود. در این تحقیق، یک برنامه‌ریزی با بازه‌ی زمانی چهار ساعته جهت به روزرسانی تصمیمات در مسائل حمل و نقل در بنادر، پیشنهاد گردید.

در یک تحقیق دیگر، مسئله‌ی زمان‌بندی پویا و ایستای AGV ها به عنوان یک مدل کمترین جریان هزینه^{۴۱} مطرح گردید. (Rashidi H. a., "Applying the Extended Network Simplex Algorithm and a Greedy Search Method to Automated Guided Vehicle Scheduling", ۲۰۰۵)، مدل، تابع هدف سه جمله دارد (زمان سفر AGV در طی مسیر پایانه، زمان انتظار AGV ها در اسکله، و میزان تاخیر در انجام وظیفه) برای حل مدل، در این تحقیق مقداری ابتدا پیشرفت‌هایی بر روی الگوریتم سیمپلکس شبکه (NSA^{۴۲}) ایجاد شد و سپس یک الگوریتم جدید، به نام NSA+ جهت حل مسائل ایستا پیشنهاد گردید. جهت تکمیل NSA+ برای مسائل پویا، در پژوهش یک الگوریتم ناقص به نام جستجوی حریصانه‌ی خودروها (GVS^{۴۳}) ارائه گردید. برای ارزیابی فواید و ضررهای نسبی NSA+ در مقایسه با GVS این الگوریتم‌ها برای مسائل زمان‌بندی پویای خودروهای خودران به کار گرفته شدند.

در پژوهشی دیگر، مساله‌ی ارسال خودروهای بالابرنده خودکار (ALV)^{۴۴} در پایانه‌های کانتینری بنادر، مورد بررسی قرار گرفت. (Nguyen, ۲۰۰۹) خودروهای ALV قابلیت بالابردن کانتینرها

⁴⁸ Single-load

⁴⁹ Multi-load

⁵⁰ Constraint satisfaction and optimization problem

⁵¹ Feasible solution

⁵² Simulated annealing Method

⁵³ customized

⁵⁴ Heterogenous

⁴⁰ Decision Support System

⁴¹ Minimum Cost Flow

⁴² Network Simplex

⁴³ Greedy Vehicle Search

⁴⁴ Automated Lifting Vehicles

⁴⁵ Buffer space

⁴⁶ Mixed-integer programming model

⁴⁷ Time window restrictions

در پژوهشی دیگر، مساله زمان بندی یکپارچه‌ی خودروهای AGV و جرثقیل‌های QC مورد مطالعه قرار گرفتند. (Homayouni, ۲۰۱۱) سپس، مساله به صورت یک مساله‌ی برنامه ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی MILP فرمول بندی شد. تابع هدف این مدل، کمینه نمودن بازه‌ی زمانی تخلیه و بارگیری مجموعه از جرثقیل‌های QC بود. این مدل به وسیله‌ی یک SAM تغییر کرده، حل گردید. در این پژوهش، تاثیرات دو مجموع از عوامل کنترلی^{۵۵} و سه جریان خنک‌کنندگی^{۵۶} جهت پیدا نمودن جواب SAM بررسی گردید. یک مقایسه بین نتایج مختلف MILP و SAM به وضوح نشان داد که میزان کارایی SAM در پیدا کردن جواب بهینه‌ی مساله‌ی زمان بندی، به مراتب بالاتر می باشد.

یک تحقیق دیگر، مدل بهینه سازی چند محموله‌ای (MOOM) جهت زمان بندی مسئله جرثقیل‌های پشته‌ای SC خودران در پایانه‌های کانتینری خودکار (ACT)^{۵۷} مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، مسائل حمل و نقل با سه هدف در تابع هدف (زمان انتظار و سفر SC و زمان تکمیل کارها کانتینری با اولویت بالا) بررسی گردید. این مدل به یک مساله‌ی پنجره‌ی زماندار با تخلیه و بارگیری در ترتیب دوتایی برنامه ریزی خطی^{۵۸} فرمول بندی گردید. در این مدل، مجموع وزن دار هر هدف در تابع هدف، به عنوان نمونه‌ی منتخب از مسئله‌ی زمان بندی خودکار SC می باشد. یک الگوریتم دقیق بر اساس شاخه و کران با روش تولید ستون^{۵۹} جهت حل این مساله توسعه داده شد.

یک تحقیق دیگر نیز یک مدل و استراتژی مساله‌ی تصاحب و اجاره کامیون‌های درونی (IT)^{۶۰} با ترتیب را مورد بررسی قرار داد. (Wang, ۲۰۱۴) Z. X., در این تحقیق، مسئله‌ی یکپارچه‌ی زمان بندی و تخصیص منابع به دو مرحله تقسیم گردید و یک رویکرد ابتکاری دو مرحله‌ای، توسعه یافت. مرحله اول، عملیات‌های روزانه‌ی ITها را مشخص می نماید و در مرحله دوم، استراتژی به کارگیری کامیون، با توجه به نتیجه‌ی مرحله‌ی اول، به کار گرفته می شود.

طی یک پژوهش دیگر، مساله‌ی تخصیص کانتینرهای حمل و نقلی به خودروهای بالا برنده (ALV) بررسی گردید. (Zhicheng, ۲۰۱۴) نویسندگان یک مدل اعزام بی درنگ جهت اختصاص دادن کانتینرها به پایانه‌ها به ALV ارائه نمودند. در این مدل، مجموعه‌ای از رویدادها

باعث فعال سازی جدید مکانیزم اعزام ALV می شود. در این تحقیق، از یک الگوریتم منطبق شده مجارستانی (AHA^{۶۱}) جهت حل نمونه‌های زیادی از مسائل ارسال خودروها، استفاده گردیده است.

در یک مطالعه‌ی دیگر، اتوماسیون بنادر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در یک کتاب منتشر گردید. (Rashidi H. a., ۲۰۱۶) این کتاب، نویسندگان به مرور مطالعات انجام در حوزه ارسال و زمان بندی AGVها پرداختند. به طور کلی، در هر بندر، تعداد زیادی AGV و خودرو جهت حمل کارها کانتینری وجود دارند. این کتاب شش الگوریتم پیشرفته جهت زمان AGVها در بنادر را مورد بررسی قرار می دهد. این پژوهش، مجموعه‌ای جامع از مسائل زمان بندی پویا و ایستا در حوزه‌ی خودروهای AGV را بیان گردیدند. این تحقیق، به عنوان مرجع اصلی برای محققان و مسئولین بنادر و همچنین دانشجویان ارشد و دکتری و متخصصان در حوزه‌ی تحقیق در عملیات می باشد. در این تحقیق برای متخصصان، الگوریتم‌های بهینه و نوآورانه جهت حل مساله‌ی کمترین ارائه گردیده است. همچنین برای دانشجویان، یک مرور در حوزه‌ی تحقیق در عملیات در کنار فرمول بندی روان از مسائل اتوماسیون بنادر، به ارمغان می آورد. محتوا این کتاب پژوهشی به دو بخش عمده تقسیم شده است. اولین بخش، تصمیمات گوناگون برای مسائل مدرن پایانه‌های کانتینری مطرح می گردند و در بخش دوم، این تصمیمات به پنج مساله زمان بندی طبقه بندی می شوند.

طی یک تحقیق دیگر، مساله‌ی جریان شبکه‌ی پارامتری در مدل‌های گرافی مورد مطالعه قرار گرفت (Nicola, ۲۰۱۷) در این تحقیق یک الگوریتم جهت مساله‌ی بهینه سازی پیشنهاد شد که می تواند در محیط‌های گسسته‌ی پویا به کار رود. این الگوریتم پیشنهادی، به صورت تکراری بیشترین جریان در شبکه‌ی پویا را برای مجموعه از مقادیر پارامترهای تعیین می کند. در هر تکرار، الگوریتم یک نقطه‌ی شکستگی^{۶۲} جدید برای تابع مقدار بیشترین جریان پویای پارامتری، محاسبه می کند. الگوریتم هم چنین بیشترین جریان را با شرط کمینه شدن زمان جابه جایی^{۶۳} محاسبه می نماید. جریان پویا در شبکه زمان فضا از طریق سریع ترین پرتابه از گره مبدا به مقصد، افزوده می شود. (با شرط اینکه زمان گسترش شبکه افزایش چشمگیر نگردد)

⁵⁹ Column-generation methods

⁶⁰ Internal Trucks

⁶¹ Adapted Hungarian Algorithm

⁶² Breaking point

⁶³ transit

⁵⁵ Controlling factors

⁵⁶ Cooling procedures

⁵⁷ Automated Coniner Terminals

⁵⁸ Time-windows problem with pick-up and drops-off in the arrangement of binary integer programming

در یک پژوهش دیگر، رویکردی برای مسالهی زمان بندی خودروها جهت اطمینان حاصل نمودن از جریان یکنوخت کانتینرها در پایانه-های کانتینری، توسعه داده شد. (Rahman, H. and Nielsen, ۲۰۱۹). در این رویکرد، یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی و دو الگوریتم فرا ابتکاری برای دستیابی به کیفیت زمان بندی ها در طی یک بازه زمانی منطقی، ارائه گردید. نتایج تجربی نشان دادند که یک کاهش قابل توجه در تفاوت های بین زود رسیدن و تاخیر داشتن، و زمان تعیین شده ای انجام وظیفه کانتینری وجود دارد. این پژوهش همچنین رویکردی را جهت اطمینان از توزیع یکنواخت کانتینرها به شیوه ای یکپارچه، پیشنهاد داد. همین طور، بهبودهایی در عملکرد عملیاتی مشاهده گردید. از این روش می توان برای حرکت یکنواخت مواد در محیط های تولیدی، استفاده نمود.

* **یک پژوهش دیگر**، دو مسالهی برنامه ریزی یکپارچه سازی تجهیزات پایانه های کانتینری و AGV های متعدد بدون تداخل را مورد بررسی قرار داد. (Zhong, Yang, Dessouky, & Postolache, ۲۰۲۰) نویسندگان، مساله را به صورت مدل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی با هدف کمینه نمودن تاخیر AGV ها، مدل سازی نمودند. این مدل بر پایه ی برنامه ریزی یکپارچه، مسیر بهینه و عدم تداخل خودروها می باشد. برای حل این مساله، محققین، یک الگوریتم ترکیبی بر پایه ی الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات با استفاده از منطق فازی، پیشنهاد نمودند. شبیه سازی پویای گره های مسیری نشان داد که مدل پیشنهادی می تواند مسائل دارای تداخل و تراکم AGV ها را حل نماید و قابل استفاده در ترمینال های کانتینری موجود می باشد.

* **در یک تحقیق گسترده**، مسئله ی مسیریابی و ارسال AGV ها بررسی گردید و یک مدل عدد صحیح ترکیبی جهت کمینه نمودن زمان تکمیل کارها^{۶۴} و برای حل یک الگوریتم B&B براساس روش شاخه و کران ارائه گردید. همچنین یک الگوریتم ابتکاری حریصانه دو مرحله ای (TGH)^{۶۵} جهت بهبود سرعت الگوریتم برای مسئله هایی با ابعاد بالا ارائه گردید. همچنین یک الگوریتم ابتکاری جهت اطمینان حاصل کردن از عدم برخورد در هر عمق از الگوریتم B&B مطرح گردید. در این پژوهش هم نمونه های ایستا و هم نمونه هایی پویا از بندر چینگدائو چین جهت ارزیابی کاربردهای عملی این الگوریتم،

مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن با دو رویکرد مرسوم برنامه ریزی FCFS^{۶۶} و SETTF^{۶۷} مقایسه گردید. هم در مقیاس کوچک و هم در مقیاس بزرگ الگوریتم به طور قابل توجهی از دو رویکرد بهتر عمل می کند. (درصد فاصله^{۶۸} از جواب بهینه ۱۳.۳۹٪ نسبت به FCFS و ۲۱.۱۲٪ نسبت به SETTF)

* **در یک تحقیق دیگر**، برنامه ریزی مسیری بدون تداخل در پایانه-های کانتینری خودکار (ACT) با استفاده از روش یادگیری تقویتی^{۶۹}، مورد بررسی قرار گرفت. (Hu, Yang, Xiao, & Wang, ۲۰۲۳) در این پژوهش، چینش ACT به صورت شبکه از گره ها می باشد و یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح جهت کمینه سازی مسافت طی شده توسط AGV ها توسعه یافت و سپس جهت حل، یک الگوریتم یادگیری تقویتی چند عاملی براساس یک سیاست معین گرادیانی چند عاملی عمیق (MADDPG^{۷۰}) مطرح شد. نتایج این گزارش با دو رویکرد مطرح شده در نرم افزار ILOG CPLEX و الگوریتم دایجسترا با پنجره زمانی^{۷۱} مقایسه گردید. مشاهده شد که زمان اجرای الگوریتم از الگوریتم دایجسترا بیشتر ولی خطای کمتری داشت و همین طور زمان اجرای الگوریتم، از نرم افزار ILOG CPLEX به طور قابل توجهی کمتر بود.

۲.۲ استفاده از AGV ها در سیستم های تولیدی

انعطاف پذیر

در این بخش آخرین دستاوردهای محققان در کاربرد AGV ها در سیستم های تولیدی مطالعه و مورد بررسی قرار می گیرند. یک تحقیق، یک رویکرد ترکیبی^{۷۲} جهت حل مساله زمان بندی و مسیریابی AGV ها بدون تداخل در یک ناحیه ی تولید را مورد بررسی قرار داد. (Chaudhry, ۲۰۱۱) و (Corréa, ۲۰۰۷)) مساله به دو بخش اصلی و زیر مسئله تقسیم بندی شد. زمان بندی همزمان به عنوان مسئله است و مسیریابی AGV ها بدون هیچ تداخلی نیز یک زیر مساله می باشد. بدین ترتیب، رویکرد ترکیبی شامل یک روش تجزیه می باشد که به وسیله آن، زمان بندی (یعنی همان مسئله ی اصلی) توسط محدودیت های برنامه ریزی، فرمول بندی می شوند و مسیریابی بدون تداخل (یعنی همان زیر مسئله) نیز توسط برنامه ریزی

⁶⁹ Reinforcement Learning

⁷⁰ Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient

⁷¹ Time windows based Dijkstra algorithm

⁷² hybrid

⁶⁴ Makespan

⁶⁵ Two-staged Greedy Heuristic

⁶⁶ First Come First service

⁶⁷ Shortest empty travel time first

⁶⁸ Optimality Gap

عدد صحیح ترکیبی. علاوه بر این، برش‌های منطقی زیادی تولید گردید که به واسطه‌ی حل نمودن زیر مسائل، ایجاد شده بودند و سپس در زیر مسائل جهت هرس^{۷۳} جواب بهینه‌ای که مسیرهایش بدون تداخل هستند، استفاده گردیدند.

در یک تحقیق دیگر، از روش‌های هوش مصنوعی جهت پیاده‌سازی یک خودروی AGV برای بهبود سطح خودرانی و انعطاف‌پذیری، استفاده شد. در این پژوهش یک سیستم کامل روی برد که شامل طراحی هم سخت افزار و هم نرم افزار بود، توسعه داده شد. این سیستم با هدف توسعه‌ی یک AGV کامل در محیط‌های صنعتی به عنوان یک سیستم انعطاف‌پذیر جابه‌جایی مواد (FMHS^{۷۴}) ساخته شد. سیستم دارای یک سنسور مسیریابی لیزری جهت محلی سازی^{۷۵} و یک سنسور دیگر جهت مشکلات احتمالی امنیتی، می‌باشد. معماری سخت‌افزار این تحقیق در یک CPU ایجاد گردیده که از طریق یک گذرگاه داده (Bus) به کنترلرهای سطح پایین متصل شده است. در فرایند طراحی در تحقیق؛ سادگی، مقاوم بودن^{۷۶}، انعطاف‌پذیری و امن بودن مورد ملاحظه قرار گرفتند. نتایج اصلی این پژوهش، یک نمونه‌ی اولیه بود که در محیط‌های ساختار یافته و جزئی ساختار یافته‌ی تولیدی، می‌توانست عملیات انجام دهد. نمونه اولیه در یک کارخانه واقعی نیز توانست به صورت موثر عملیاتی را انجام دهد. در این محیط AGV توانست بغلپوش‌ها را به درستی جابه‌جا کند.

در تحقیق دیگر، مسئله‌ی زمان بندی هم روند تعدادی AGV و تعدادی ماشین‌های عددی کنترل شده (NCM)^{۷۷} در یک سیستم تولیدی انعطاف پذیر مورد بررسی قرار گرفت. (Chaudhry, ۲۰۱۱) تابع هدف مساله، کمینه کردن زمان کار برای NCM ها و AGV ها بود. این تحقیق، یک الگوریتم ژنتیک بر پایه گستره برگ^{۷۸} (SBGA) است که شامل یک افزونه جهت اضافه نمودن یک الگوریتم ژنتیک (GA) همه منظوره و مستقل از دامنه به برنامه‌ی گستره برگ برای حل مساله می‌باشد. این تحقیق یک مجموعه داده با ۸۲ داده را آزمایش و نتایج آن را باهم مقایسه نمود.

تحقیقی دیگر، بر روی یک پیکره‌بندی پشت سر هم خودروهای خودران (TAGV)^{۸۰} جهت بهینه نمودن زمان تولید و جابه‌جایی دستگاه‌های مواد، تمرکز نمود. (Fazlollahtabar, ۲۰۱۲)

موثر در سیستم تولید خودکار انعطاف پذیر (AFMS)^{۸۱} بررسی شد. به دلیل پیکره بندی‌های مختلف TAGV ها در AFMS ها، عملیات جابه‌جایی مواد با موفقیت انجام گردید. در شبیه‌سازی انجام شده، بسیاری از داده‌های تصادفی توسط تعدادی از توابع توزیع احتمالاتی، با توجه به پارامترهای زمانی مختلف، و خرابی TAGV ها حین حرکت، تولید گردید.

در یک تحقیق دیگر، ادبیات رویکردهای مختلف جهت بهینه‌سازی سیستم AGV ها مرور گردید. نویسندگان، دو مسئله‌ی مهم ارسال و مسیریابی AGV ها را در تولید، انتقال کالا به کشتی، حمل و نقل و سیستم‌های توزیع شده مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش به رده‌بندی رویکردهای ریاضیاتی (ابتکاری یا دقیق)، مطالعات شبیه‌سازی، روش‌های فرا ابتکاری و هوش مصنوعی، پرداخته شد.

یک پژوهش به مطالعه‌ی عمیق عملیات‌های حمل و نقلی که در وسایل جابه‌جایی مواد به کار می‌روند، پرداخت. (Héctor, ۲۰۱۴) نویسندگان به شرح گرایشات موجود در صنعت و توسعه‌های انجام شده، پرداختند و سپس به یک طبقه بندی از چارچوب سیستم‌های حمل و نقلی ارائه نمودند که بر اساس تحقیقات علمی که در مجلات تا سال ۲۰۱۲ چاپ شده بود، می باشد. این تحقیق هم چنین به بحث در مورد چالش‌های موجود در پارادایم‌های^{۸۲} عملیات‌های حمل و نقلی، پرداخت. چارچوب این طبقه بندی، بین مسائل مختلف بهینه‌سازی، تمایزاتی قائل می‌شود که این مسائل عبارتند از: الف) مقایسه نوع خودروها، ب) مشخص نمودن تعداد خودروها، پ) مسیریابی خودروها، ت) زمان بندی خودروها و س) اجتناب از برخورد و بن‌بست در حرکت خودروها.

در یک مطالعه‌ی دیگر، بر روی مسئله‌ی زمان بندی AGV ها و پیاده‌سازی آن در سیستم‌های تولیدی، کار شد. (Nageswararao, ۲۰۱۴) هدف، کمینه کردن هزینه دریافت و بهبود تولید در مسئله‌ی بهینه سازی بود. در این تحقیق یک الگوریتم ابتکاری دودویی ازدحام ذرات ابتکاری مخصوص خودرو ها (BPSVHA^{۸۳}) توسعه داده شد. این الگوریتم جهت حل مساله‌ی زمان بندی خودروها با توجه به اتخاذ یک تابع فاکتور استواری^{۸۴} و کمینه‌سازی میانگین تاخیر، استفاده گردید. نتایج تجربی و محاسباتی نشان داد که BPSVHA یک جواب بهتر برای روش‌های موجود ارائه نمود.

⁷⁹ Spreadsheet-based genetic algorithm

⁸⁰ Tandem automated guided vehicle

⁸¹ Automated flexible manufacturing system

⁸² paradigms

⁸³ Binary particle swarm vehicle heuristic algorithm

⁸⁴ Robust factor function

⁷³ pruning

⁷⁴ Flexible material handling system

⁷⁵ localization

⁷⁶ Robustness

⁷⁷ Numerically controlled machines

⁷⁸ Spreadsheet

در یک تحقیق دیگر، یک الگوریتم جستجوی فرا ابتکاری جاذبه‌ای (MHGS)^{۸۵} برای مسالهی زمان‌بندی همگام شده‌ی ماشینها مطرح گردید. (Medikundu, ۲۰۱۷) این مساله شامل دو ماشین AGV با ویژگی‌های یکسان در سیستم تولیدی انعطاف پذیر می‌باشد. الگوریتم MHGS برای حل بسیاری از مسائل استفاده گردیده است و نتایج مناسب بودن جهت کمینه کردن زمان انجام وظیفه، نشان داده شده است. با استفاده از این الگوریتم تمامی کارها را سریعتر از رویکردهای موجود با ذخایر سریع‌تر منابع انجام داد.

یک تحقیق بر روی بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)^{۸۶} ترکیب شده با الگوریتم ممتیک (MA)^{۸۷} را مورد بررسی قرار داد و یک راه حل معروف به الگوریتم بهینه‌سازی ممتیک تغییر یافته ازدحام ذرات (MMPSO)^{۸۸} ارائه نمود. (Chawla, ۲۰۱۸) هدف یافتن راه حل -های اولیه شدنی برای مسالهی زمان‌بندی AGV‌های چند محموله -ای^{۸۹} بود؛ به طوریکه زمان سفر و انتظار AGV‌ها در یک سیستم تولید انعطاف‌پذیر، کمینه گردد. نتایج اصلی آزمایش نشان داد که الگوریتم MMPSO پیشنهادی، قابلیت پیدا کردن یک جواب متوازن را داراست. این روش با بهره‌وری از هر دو روش به هنگام جستجوی سراسری^{۹۰} در PSO و به هنگام جستجوی محلی^{۹۱} در MA قادر به حل مساله می‌باشد. همچنین نتایج آماری نشان داد که MMPSO پیشنهادی می‌تواند یکی جواب اولیه شدنی که کارا جهت زمان AGV‌های چند محموله ای است، ارائه دهد.

یک تحقیق دیگر بر روی صنعت ۴۰ که نسل جدید صنعت تولید می‌باشد، تمرکز نمود. (Mehami, ۲۰۱۸) در این تحقیق از تکنولوژی اینترنتی که بر پایه‌ی برجسب‌های شناسایی فرکانس رادبو^{۹۲} است، جهت نظارت و کنترل کیفیت حرکات، استفاده گردید. این تحقیق بر سه جنبه‌ی مختلف تاکید دارد: قابلیت پیکره‌بندی، شخصی‌سازی^{۹۳} و انعطاف‌پذیری. این جنبه‌ها به ندرت در دنباله‌ای از کارها در خودروهای هوشمند AGV دیده می‌شوند. یک شبیه ساز بر روی لجستیک‌های درون محیط تولیدی، یک کارخانه هوشمند را به نمایش گذاشت که از دو نوع AGV را استفاده می‌کردند.

یکی تحقیق دیگر نیز یک برنامه ریز حرکتی^{۹۴} متمرکز برای مسائل زمان‌بندی AGV‌ها در سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر، پیشنهاد نمود. (Demesure, ۲۰۱۸) یک طراح زمان‌بندی در برنامه‌ریز حرکتی با

قابلیت‌های به روز رسانی مقصد و مبدا AGV‌ها در حین مسیریابی جهت تکمیل کارهای حمل و نقل، طراحی گردید. رویکرد پیشنهادی در دو مرحله اجرا گردید. در اولین مرحله، برنامه‌ریز مسیرهای گوناگون را طوری تشخیص می‌دهد که بتواند در صورت رخداد برخوردهای تداخلی، رهایی یابد. این برخوردها قبلاً توسط یک مدیر مرکزی شناسایی گردیده است. سپس این مسیرهای تشخیص داده شده که نقش تصمیم‌گیری AGV را دارند، برای AGV‌ها فرستاده می‌شود. در قدم دوم، مسیرهای از قبل تشخیص داده شده ی همسایه ها در نظر گرفته می شوند تا یک راه بدون برخورد به وسیله ی سیاست اولویت بندی، به وجود آید. نتایج آماری و تجربی، ارتباط بین شدنی بودن رویکرد پیشنهاد شده با یک راه حل مناسب غیر متمرکز جهت برنامه ریزی AGV‌ها، نشان دادند.

تحقیقی دیگر، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح جهت گروه‌بندی تعدادی ماشین به تعداد حلقه، ارائه نمود که جهت ساخت یک پیکره‌بندی کارا برای سیستم AGV‌ها در طراحی جفتی^{۹۵} توسعه داده شد. (Rahimikelarijani, ۲۰۱۹) این مدل، هر دو جریان حلقه‌های intra.ring و inter.ring را کمینه می‌نماید. مدل پیشنهادی توسط استراتژی حلقه‌های متعادل شده^{۹۶} جهت متعادل نمودن میزان کار، به کار گرفته شد. این تحقیق، به طور گسترده‌ای AGV‌های چند محموله‌ای را بررسی می کند. مدل پیشنهادی AGV‌ها دارای قابلیت کاهش تعداد کل خودروها و زمان انتظار کار را دارد. همچنین، یک روش جستجوی همسایگی متغیر برای مسائل با ابعاد بالا در نظر گرفته شده است. نتایج حاکی از این است که استفاده از AGV‌ها چند محموله‌ای به تک محموله‌ای باعث کاهش هزینه جریمه سیستم به میزان قابل توجهی، می‌گردد و مدل دارای دقت خوبی برای مسائل با سائز کوچک و متوسط می‌باشد.

در یک پژوهش دیگری، یک سیستم چند عاملی توزیع شده جهت زمان‌بندی مسائل سر هم کردن منعطف ربات‌ها توسعه داده شد. (Maoudj, ۲۰۱۹) هدف از مسئله‌ی زمان‌بندی، کمینه‌سازی زمان کار می باشد. این مسئله، ارتباط زیادی با تخصیص و دنباله‌سازی ربات‌ها، با توجه به ارضای محدودیت‌های محصولات و ربات‌ها دارد. سیستم پیشنهاد شده به بیان مسئله با استفاده از یک رویکرد تصدیق شده توسط مسئول محلی، نظارتی و از راه دور می باشد. در سیستم

⁹¹ Local search

⁹² Radio frequency Identification

⁹³ Customizability

⁹⁴ Motion Planner

⁹⁵ Tandem layout

⁹⁶ BalancedOrings strategy

⁸⁵Meta-heuristic gravitational search

⁸⁶ Particle Swarm Optimization

⁸⁷ Memetic algorithm

⁸⁸ Modified Memetic Particle Swarm Optimization Algorithm

⁸⁹ Poly-Load

⁹⁰ Global search

رسیدن به مقدار بهینه بیشتر از MMPSO بود ولی دقت مقدار بهینه بهتر از MMPSO مشاهده گردید.

* **یک تحقیق دیگر** بر روی زمان بندی بی درنگ AGV ها در کارگاه های کاری^{۱۰۵} تمرکز داشته است. (Cai, Li, Luo, & He, ۲۰۲۳) در این پژوهش تلاش بر حل مشکلاتی نظیر درواست های تصادفی یا خرابی ناگهانی دستگاه ها شده است. در این پژوهش از تعدادی پردازنده (PU^{۱۰۶}) جهت پیش بینی زمان مورد نیاز برای انجام صفی^{۱۰۷} از وظایف اولویت دار استفاده گردید. در این مطالعه، هدف بیشینه نمودن رضایت مشتری، استفاده از وسایل نقلیه و کمینه نمودن استفاده از انرژی است. در این تحقیق که در یک کارگاه کاری شبیه سازی شده انجام گردید، زمان انتشار اطلاعات مربوط به وظیفه بعدی به AGV هنگامی است که AGV وظیفه قبلی را به اتمام رسانده است. نتایج تجربی نشان دادند که این رویکرد می تواند منجر به امکان پیش بینی بهتر و دقیق تر AGV گردد.

۳. نتایج اصلی پژوهش ها

در این فصل به ارزیابی پژوهش ها پرداخته می شود و سپس چند نتیجه حاصل از این ارزیابی ها، ارائه می گردد.

۱.۳ مقایسه نتایج کلی

در این بخش به صورت جدولی، به شرح نتایج پژوهش های اصلی در دو حوزه استفاده از AGV ها در پایانه های کانتینری و محیط های تولیدی می پردازیم.

جدول ۱ به پژوهش های اصلی مربوط به تصمیم گیری، مسیریابی و زمان بندی خودروهای خودران AGV در پایانه های کانتینری و جدول ۲ نیز در محیط های تولیدی می پردازد. ستون های دو جدول عبارتند از: سال نام پژوهشگر (سال)، رویکرد مدل سازی و راه حل ها (الگوریتم/روش/برنامه کامپیوتری)، ابعاد مسئله و نتایج تجربی.

مهم ترین نتایج حاصل از بررسی جدول ۱ عبارتند از:

نتیجه ۱: این پژوهش نشان داد که بیشتر محققین بر روی استفاده از AGV ها درون ترمینال های کانتینری تمرکز نموده اند. هم چنین

پیشنهادی، عامل ها^{۹۷} ربات های خودران می باشند. در طراحی این عامل ها، پروتکل مذاکره به عنوان ارضا کننده هدف های محلی است و یک جواب بهینه سراسری را به همراه دارد. این پروتکل براساس قواعد ارسال رایج خودروها می باشد که جهت هماهنگ سازی تصمیمات عوامل به کار رفته است.

در سال ۲۰۲۰، یک پژوهش دیگر بر روی زمان بندی پویا تمرکز نموده است. (Gu, ۲۰۲۰) در این تحقیق، تعدادی ماشین و AGV با سرعتی مداوم در یک طبقه ی فروشگاه، حرکت می کنند. در این تحقیق یک مدل ریاضی با هدف کمینه سازی بازه ی زمانی ساخته و یک رویکرد بهینه سازی برگرفته از زیست شناسی (BIOA)^{۹۸} جهت حل مساله در محیط های تولیدی منعطف، ارائه می شود. برای درستی آزمایی، کارایی رویکرد در کاربردهای عملی، BIOA و دیگر رویکردهای ارسال مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج تجربی نشان داد که BIOA عملکردی بهتر داشت. هم چنین، این رویکرد کیفیت یکپارچه زمان ماشین های AGV را بی درنگ^{۹۹} بهبود بخشید.

* **در یک مطالعه ی دیگر**، به مسئله ی کمینه نمودن کل مسافت طی شده و انرژی مصرف شده توسط AGV ها چند نوعی در کارگاه های انعطاف پذیر صنعتی پرداخته شد (Gao, Zheng, Gao, & Tong, ۲۰۲۲). در این پژوهش، به بررسی میزان تاثیر مصرف انرژی بر عملکرد AGV و چند نوعی بودن از نظر وزن، میزان ابعاد، میزان توانایی موتور و ... پرداخته شد. مدل بهینه سازی جهت مدلسازی مسئله و الگوریتمی فرا ابتکاری بر اساس الگوریتم ژنتیک و جستجوی محلی با ابعاد بالا (GA-LNS^{۱۰۰}) ارائه شد. نتایج نشان دادند که استفاده از چندین نوع از خودروها، می تواند مصرف سوخت را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

* **در پژوهش دیگر**، مسئله ی زمان بندی AGV ها در سیستم های خودکار نگهداری و بازایی (AS/AR^{۱۰۱}) را مورد بررسی قرار داد. (Lin, و غیره، ۲۰۲۳) در این پژوهش که در یک سیستم تولیدی منعطف شبیه سازی شده با ۲۰ ردیف از قفسه ها (هر ردیف شامل ۵ عدد قفسه) انجام گردید، الگوریتم برنامه ریزی وظایف برای AGV های چند محموله ای (MLATSO^{۱۰۲}) بر اساس الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب (NSGA)^{۱۰۳}، مطرح شد. نتایج مطالعه، با الگوریتم ازدحام ذرات ممتیک تغییر یافته (MMPSO)^{۱۰۴} مقایسه گردید. زمان

¹⁰³ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

¹⁰⁴ Modified Memetic Particle Swarm Optimization

¹⁰⁵ Job Shop

¹⁰⁶ Processing Unit

¹⁰⁷ Queue

⁹⁷ Agents

⁹⁸ Bio-inspired optimization approach

⁹⁹ Real-time

¹⁰⁰ Genetic Algorithm- Large-scale Neighborhood Search

¹⁰¹ Automatic Storage and Retrieval System

¹⁰² Multi-Load AGVs Task Scheduling Optimization

جدول ۱ پژوهش های اصلی انجام شده در ارتباط با استفاده از AGV ها در پایانه های کانتینری

مرجع	مدل (الگوریتم/روش/برنامه)	ابعاد مساله (تعداد)	نتایج تجربی
(Böse, ۲۰۰۰)	برنامه ریزی خطی عدد صحیح (الگوریتم تکاملی)	کشتی ها (چهار) و QC (دو) و برای هر کشتی و SC (شش)	برای تعدادی بندر واقعی جهت بهبود عملکرد، استفاده شد.
(Wook, ۲۰۰۰)	برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی (برنامه ی LINDO)	کشتی ها (یکی)، QC ها (دو)، AGV ها (یک تا پنج) و کار ها کانتینری (۱۵ تا ۳۰)	ارسال گروهی بهتر از ارسال اختصاصی بود.
(Thurston, ۲۰۰۲)	مدل چند عاملی (برنامه ی ترکیب الگو)	کشتی (یکی) AGV ها ۱۲ عدد	یک معماری چند عاملی توزیع شده که یک جواب شدنی را فراهم می کند.
(Zhang, ۲۰۰۲)	یک برنامه ریزی ترکیبی خطی عدد صحیح (دو الگوریتم فرا ابتکاری: جستجوی جلو رونده و عقب رونده)	کامیون های داخلی (۳۰ تا ۱۰۰ عدد)	یک جواب بهتر با استفاده از ترمیم لاگرانژی ^{۱۰۸}
(Cheng, ۲۰۰۳)	مدل کمترین جریان هزینه (NSA)	۲۰ عدد AGV و ۱۶ عدد QC	کمترین جریان هزینه یک جواب بهتر از رویکرد اولین-ورودی-اولین-خروجی تامین می نماید.
(Grunow, ۲۰۰۴)	مدل برنامه ریزی عدد صحیح خطی ترکیبی با قواعد اولویتی (برنامه ی CPLEX ورژن ۷.۰)	یک عدد کشتی و ۳ QC و ۳ AGV با چینش L شکل ۶ QC و ۶ AGV	عملکرد مدل و قاعده ی اولیتهی تقریباً برای چینش های کوچک یکسان بود.
(Nguyen, ۲۰۰۹)	برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی (برنامه ی ILOG CPLEX)	یک کشتی، ۱ تا ۴ ALV برای هر QC و تعداد عملیات برای هر QC ظرفیت بافر ۱ الی ۲ عدد	زمان تکمیل برای عملیات کشتی کم، تاخیر کاهش و زمان کل سفر ALV ها کاهش یافت
(Rashidi H. , ۲۰۱۰)	مسئله ی ارضای محدودیت و بهینه سازی با الگوریتم تبرید و NSA	یک کشتی، ۷ QC و ۵۰ AGV	الگوریتم NSA یک جواب اولیه ی منطقی می دهد در زمانی که روش تبرید برای AGV ها چند گانه شروع میگردد.
[Rashidi and Tsang , ۲۰۱۶]	مسئله ی زمانبندی با NSA و توسعه هایش	یک کشتی و ۵۰ AGV	جواب بهینه برای مسائل پویا و ایستا به دست آمدند.
(Rahman, H. and Nielsen, I. , ۲۰۱۹)	برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی بر اساس یک روش فرا ابتکاری	یک کشتی و ۲۰ عدد AGV	تفاوت بین زمان ملاقات و زمان واقعی عملیات برای وظایف تحویل کانتینر کاهش یافتند.
(Postolache, ۲۰۲۰ & ,Zhong, Yang, Dessouky)	مدل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی و الگوریتم ترکیبی ژنتیک و ازدحام ذرات با منطق فازی	۲۰۰-۵ کانتینر و ۳-۲۴ عدد AGV با ۴ عدد QC و ۴ عدد YC ^{۱۰۹}	کارایی الگوریتم نسبت به الگوریتم های ژنتیک هم در ابعاد پایین و هم بالا بسیار بهتر بود.
(Zeng, ۲۰۲۲ & Wang)	برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی و یک الگوریتم بر اساس روش شاخه و کران	حالت ایستا: ۱۲-۱۸ عدد AGV و ۱۰۰-۲۰۰ کانتینر حالت پویا: ۱۸ عدد AGV و ۱۰۰۰ کانتینر	عملکرد الگوریتم از هر دو روش FCFS و SETTF بهتر بود.
(Hu, Yang, Xiao, & Wang, ۲۰۲۳)	برنامه ریزی عدد صحیح و حل براساس یادگیری تقویتی	۴۵ الی ۱۳۵ کار کانتینری و ۲ الی ۵ عدد AGV	زمان حل روش از الگوریتم دایجسترا بیشتر ولی خطای بسیار کمتر و زمان حل از نرم افزار CPLEX کمتر بود

¹⁰⁸ Lagrangian relaxation

¹⁰⁹ Yard Crane

جدول ۲ تحقیقات اصلی انجام شده در حوزه ی استفاده از AGV ها در سیستم های تولیدی منعطف

مرجع	مدل (الگوریتم/روش/برنامه)	ابعاد مساله (تعداد)	نتایج تجربی
(Corréa, ۲۰۰۷)	مسئله ی برنامه ریزی با محدودیت هایی جهت هرس نمودن زیر مسئله ها: مسیر یابی بدون تداخل (روش برش های منطقی)	AGV ۶	تخصیص همزمان با مسیریابی بدون تداخل
(Barberá, ۲۰۱۰)	استفاده از روش های هوش مصنوعی جهت موقعیت یابی و محلی سازی	AGV ۵ با کار به مدت ۱۶ ساعت در روز	یکی نمونه ی اولیه با قابلیت های کارکردن در محیط های نیمه ساختار یافته و پویا
(Ali, ۲۰۱۰)	جریان عناصر و مواد اولیه بین اعضای مختلف یک FMS (طراحی و کنترل استراتژی	یک AGV	یک چهارچوب یکپارچه جهت پیاده سازی AGV ساخته شد
(Nageswararao, ۲۰۱۴)	برنامه ریزی همزمان ماشین ها (الگوریتم فراابتکاری جستجوی مبتنی بر جاذبه)	۲ عدد AGV یکسان	زمان مصرف شده جهت کامل کردن کارهای با سرعت بالاتر کمینه گردید جهت ذخیره AGV .
(Mehami, ۲۰۱۸)	صنعت ۴۰ به عنوان نسل بعد صنایع تولید (اضافه نمودن تکنولوژی های اینترنتی)	۲ نوع از AGV ها (کارل و جیمی)	یک AGV هوشمند که بتواند تنظیم گردد و منعطف باشد
(Demesure, ۲۰۱۸) (Rahimikelarijani, ۲۰۱۹)	برنامه ریزی AGV ها با حرکت های غیر متمرکز برنامه ریزی یک AGV با گروهی از ماشینی ها (برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح)	۲۵ عامل AGV پیکره بندی برای سیستم AGV ها در چینش قطاری ^{۱۱۰}	شدنی و کاربرد استراتژی پیشنهادی هزینه ی جریمه شده تا ۴۰ درصد کم شد
(Maoudj, ۲۰۱۹)	کنترل و برنامه ریزی رباتیکی های انعطاف پذیر سلول های مجمع شده	۱۵ ربات	تاثیر گذاری و مقاوم بودن سیستم
(Gao, Zheng, Gao, Tong & Han, ۲۰۲۲)	برنامه ریزی AGV های چند نوعی جهت کمینه نمودن مصرف انرژی	۶ عدد AGV ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ وظیفه	مصرف کمتر انرژی با استفاده از چند نوع AGV در مقایسه با تک نوع
(Cai, Li, Luo, & He, ۲۰۲۳)	برنامه ریزی بی درنگ تعدادی AGV و تعدادی پردازنده با قابلیت آماده سازی به روز رسانی وظایف	AGV ۲ و ۴ پردازنده برای مقیاس کوچک ۱۰ عدد AGV و ۲۰ پردازنده برای مقیاس بزرگ ۵۶ وظیفه	آماده سازی بیشتر و پیش بینی دقیق تر با رویکرد جدید انتقال اطلاعات وظیفه ی بعدی به AGV ها
Lin (۲۰۲۳) و غیره,	برنامه ریزی AGV چند محموله ای با حل بر اساس الگوریتم ژنتیک NSGA	۳۵-۵ عدد AGV هر یک با ۵ یا ۱۰ ظرفیت ۷۰-۱۰ وظیفه در هر آزمایش	الگوریتم زمان اجرای بیشتری نسبت به MMPSO ولی دقت بالاتری داشت.

¹¹⁰ Tandem Layout

پژوهش های بسیاری بر روی زمان بندی و مسیر یابی این خودروها تمرکز نموده است.

نتیجه ۲: همانطور که در جدول ۱ مشهود است، در اکثر تحقیقات از برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی جهت مدلسازی استفاده شده است.

نتیجه ۳: بزرگترین مسئله از نظر تعداد AGV ها توسط (Rashidi, ۲۰۱۰, H.) آزمایش شد و سپس (Zhang, ۲۰۰۲) در جایگاه دوم قرار دارد.

نتیجه ۴: مسائل را میتوان به چهار گروه مختلف دسته بندی نمود: الف) مسائل با توپولوژی مسیر کلی ب) مسائل بهینه سازی مسیر ج) مسائل با یک توپولوژی مسیر خاص د) مسائل مربوط به ارسال AGV ها

نتیجه ۵: در مسائل با توپولوژی های مسیری کلی، بر اساس چینش ترینال های کانتینری، روش های حل به سه دسته تقسیم بندی می شوند: روش های پنجره زمانی، ایستا و پویا

نتیجه ۶: در مسائل بهینه سازی مسیر، مدل ها به سه کلاس مختلف تقسیم بندی می شوند: مدل های برنامه ریزی خطی عدد صحیح، مدل های گرافی متقاطع و مدلی های برنامه ریزی عدد صحیح دودویی

نتیجه ۷: در مسائل بهینه سازی با یک توپولوژی مسیر خاص، برای چینش بنادر، سه نوع توپولوژی را می توان طراحی و توجه نمود: دایره ای، خطی و مشبک

با در نظر گرفتن جدول ۲، نتایج زیر را می توان اشاره نمود:

نتیجه ۸: فقط یک تحقیق بر روی چینش Tandem (Rahimikelarijani, ۲۰۱۹) انجام شده است.

نتیجه ۹: تا به امروز، بزرگترین مسئله توسط (Lin, و غیره، ۲۰۲۳) با تعداد ۳۵ AGV حل گردیده است.

نتیجه ۱۰: روش های فرا ابتکاری به ندرت در سیستم های تولیدی استفاده شدند. دلیل این موضوع آن است که این روش ها نمی توانند جواب بهینه عمومی برای مسئله پیدا نمایند؛ امری که در سیستم های تولیدی بسیار مورد نیاز می باشد.

نتیجه ۱۱: روش های هوش مصنوعی به ندرت در سیستم های تولید استفاده شده اند. (Ali, ۲۰۱۰) این به دلیل عدم قدرت این روش ها در پیدا نمودن جواب بهینه عمومی است. اکثر روش های هوش مصنوعی بر پایه ی روش های موضعی سازی^{۱۱۱} است.

نتیجه ۱۲: تکنولوژی جدید AGV ها شامل صنعت نسل ۴ می باشد.

نتیجه ۱۳: AGV های چند محموله ای به ندرت در محیط های تولید استفاده می شوند. (Chawla, ۲۰۱۸) به این دلیل است که بسیاری از سیستم های تولید نیاز به اجرای جواب های بهینه با انعطاف پذیری بالا می باشند.

نتیجه ۱۴: گستره های مسئله های مسیریابی خودروها برای AGV ها در این پژوهش ها دیده نشدند. این گستره ها با توجه به زمان و ظرفیت خودروها و تعداد انبارها، نوع ارسال، خودرو با یا بدون بازگشت و کنترل خودرو، دسته بندی می شوند. این دسته بندی جهت مطالعه ی مسائل گسترده تر دیگری، همچون مسئله ی مسیریابی متناوبی، مسئله مسیریابی حاوی ظرفیت و... می باشند.

نتیجه ۱۵: محیط های پویا جهت زمان بندی و مسیریابی AGV ها به ندرت هم در اتوماسیون بنادر و هم سیستم های تولیدی دیده شده است.

نتیجه ۱۶: روش های پیشنهادی در سیستم های AGV در آزمایشگاه مطالعه گردیدند و کاربریشان در محیط های صنعتی کم می باشد.

۴. چالش های استفاده از AGV ها

در این بخش به چالش های استفاده ی بیش از حد AGV ها در سیستم های گوناگون پرداخته می شود. یکی از چالش ها، اجرای محیط های شبیه سازی که بتوانند چندین چینش را هم در پایانه ی کانتینری و هم در سیستم های تولیدی داشته باشند، است. (نتایج ۱ الی ۸) در این سیستم های، میتوان تعداد AGV متغیر و تعداد زیادی لاین به همراه عابری در حرکت کنار لاین ها داشت.

دومین چالش، کار با تکنولوژی های جدید در AGV است که شامل صنعت نسل ۴ می باشند. این چالش که توسط تکنولوژی های بر پایه اینترنت شکل گرفته است، پدید آمده است. این تکنولوژی ها می توانند از برجسب گذاری بر پایه شناسایی با امواج رادیویی، جهت تشخیص و کنترل حرکات، استفاده نمایند. همچنین از دستگاه های IoT^{۱۱۲} نیز در صنعت نسل ۴ استفاده می شود.

همچنین سومین چالش، کار بر روی رویکردهایی جهت زمان بندی پویا و مسیریابی بر پایه ی شبیه سازی دو لایه ای است. (نتیجه ۱۵) این رویکردها در دو مرحله انجام می پذیرد. در قدم اول در شبیه سازی در زمان حل هر مساله ی مسیریابی، زیر شبیه سازی ها برای هر مسیر جایگزین تولید می گردند. سپس در مرحله دوم، عملکردهای تجربی توسط این زیر شبیه سازی ها جهت ساخت حل مسیری در شبیه سازی های بعدی مورد استفاده قرار می گیرند.

¹¹² Internet of Things

¹¹¹ Localization

Transportation Engineering, Volume 7, No.
2.127-138 ,

- [4] Qiu, L. a .(2000) .Routing AGVs by Sorting .
*Proceedings of the International Conference
on Parallel and Distributed Processing
Techniques and Applications, Vol. 3*–1465 ,
.147
- [5] Dondo, R. M .(2003) .An Optimal Approach
to the Multiple-Depot Heterogeneous Vehicle
Routing Problem with Time Window and
Capacity Constraint .*Latin American Applied
Research, Vol. 33*.134 –129 ,,
- [6] Toth, P .(2003) .The Vehicle Routing
Problem Discrete Math .*SIAM (Society for
Industrial and Applied Mathematics) Press,
Philadelphia, PA*.
- [7] Hasama, T. K .(1998) .A Heuristic Approach
Based on the String Model to Solve Vehicle
Routing Problem with Backhauls .
*Proceeding of the 5th World Congress on
Intelligent Transport Systems, Seoul, South
Korea*.
- [8] Shih, L. a“ .(2001) .A Routing and
Scheduling System for Infectious Waste
Collection .”*Environmental Modelling &
Assessment, Vol. 6*.69–261 ,
- [9] Gribkovskaia, I. H“ .(2002) .Models for Pick-
Up and Deliveries from Depots with Lasso
Solutions .”*Working Paper, Molde University
College, Norway*.
- [10] Tan, K. C .(2000) .Heuristic Methods for
Vehicle Routing Problem with Time
Windows .”*Proceedings of the 6th
International Symposium on Artificial
Intelligent in Engineering*.281-295 ,
- [11] Ghannadpour, S. F .(2017) .The Special
Application of Vehicle Routing Problem with
Uncertainty Travel Times: Locomotive
Routing Problem ., *Volume 5, No. 2* 119- ,,
.136
- [12] Hsu, W. a .(1994) .Route Planning of
Automated Guided Vehicles .”*In
Proceedings of Intelligent Vehicles, Paris,
France*.485–479 ,,
- [13] Böse, J. R“ .(2000) .Vehicle Dispatching at
Seaport Container Terminals Using
Evolutionary Algorithms .”*Proceedings of
the 33rd Annual Hawaii International*

چهارمین چالش، توسعه‌ی الگوریتم‌های بهینه برای مسائل عملی
گوناگون مسیر یابی AGVها می‌باشد. (نتیجه‌ی ۱۶) یکی از گستره-
های خاص، خودروهای ظرفیت‌دار می‌باشند. تعداد این خودروها ثابت
و دارای ظرفیت واحد می‌باشند و باید حداکثر خدمات مورد نیاز یک
کالا و ARP را در پنجره زمانی‌ای، تامین نمایند. در این پنجره زمانی،
همچنین محدودیتی اضافی روی زمان تقاضای سرویس نیز وجود دارد.

۵. جمع بندی

امروزه، دو بازوی اصلی صنعت کشتیرانی و صنعت تولیدات باید به
روزرسانی و هوشمند شوند. زیرساخت این صنایع دارای تکنولوژی‌های
جدید هوشمند خودروهای AGV است. در این پژوهش به مرور
استفاده از AGVها در اتوماسیون بنادر و سیستم‌های تولیدی پرداخته
شد. در این مقاله‌ی مروری، مسائل مدل‌سازی و راه‌حل‌هایشان مورد
بررسی قرار گرفت. امروزه این خودروهای AGV، بدون راننده هستند.
(De. Ryck, ۲۰۲۰) این مقاله، نشان می‌دهد که سیستم‌های AGV
یک موضوع جدید برای پژوهش در حوزه‌ی اتوماسیون بنادر و سیستم-
های تولیدی می‌باشد. همچنین، تحقیقات آینده باید پاسخگوی
چالش‌های آتی باشند و برای چینش‌های مختلف مسیر الگوریتم‌های
بهینه توسعه داده شوند. بی‌شک، تولیدات در هر دو صنایع، کشتیرانی
و تولیدات، تحت تأثیر سه عامل می‌باشند: کیفیت خدمت‌رسانی،
سرعت خدمت‌رسانی و مجموع کل هزینه‌ها. این عوامل نقش مهمی
در رقابت کسب و کارهای امروز، ایفا می‌کنند.

مراجع

- [1] Akturk, M. S .(1996) .scheduling of
automated guided vehicles in a decision
making hierarchy .*International Journal of
Production Research, Vol. 34*.591–577 ,
- [2] Broadbent, A. B“ .(1985) .Free Ranging
AGV Systems: Promises, Problems and
Pathways .”*In Proceedings of the 2nd
International Conference on Automated
Materials Handling, IFS, Springer*.237–221 ,
- [3] Edrissi A., A. M“ .(2019) .Electric-vehicle
car-sharing in one-way car-sharing systems
considering depreciation costs of vehicles
and chargers .*International Journal of*

- on Scheduling: Theory & Applications, New York University, Vol. 2 , ,pp. 677–692.
- [25] Nguyen, V. D“ .(2009) .A Dispatching Method for Automated Lifting Vehicles in Automated Port Container Terminals .” *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56 , ,pp. 1002–1020.
- [26] Rashidi, H. (2010) .Scheduling Single-Load and Multi-Load AGVs in Container Terminals , , *Amir-Kabir Journal of Science and Technology*, Vol. 42, No. 2 , ,pp. 1–10.
- [27] Homayouni, S. T“ .(2011) .Using Simulated Annealing Algorithm for Optimization of Quay Cranes and Automated Guided Vehicles Scheduling .” *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 6, No. 27 , ,pp. 6286– 6294.
- [28] Wang, Z. X“ .(2014) .A Decision Support Method for Internal Truck Employment .,” *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 114, No. 9 , ,pp. 1378–1395.
- [29] Zhicheng, B. W“ .(2014) .Modified Hungarian Algorithm for Real-Time ALV Dispatching Problem in Huge Container Terminals ., *Journal of Networks*, Vol. 9, No. 1 , ,pp. 123–130.
- [30] Rashidi, H. a .(2016) .Vehicle Scheduling in Port Automation: Advanced Algorithms for Minimum Cost Flow Problems .*Second Edition. CRC Press, New York* .
- [31] Nicola, A. E .(2017) .The Maximum Parametric Flow in Discretetime Dynamic Networks .” *Fundamenta Informaticae*, Vol. 156, No. 2 , ,pp. 125-139.
- [32] Rahman, H. and Nielsen, I .(2019) . . “Scheduling Automated Transport Vehicles for Material Distribution Systems , .” *Applied Soft Computing*, Vol. 82 , ,pp. 1-17.
- [33] Corr  a, A. L .(2007) .Scheduling and Routing of Automated Guided Vehicles: A Hybrid Approach . *Computers & Operations Research*, Vol. 34 , ,pp. 1688–1707.
- [34] Chaudhry, A. C“ .(2011) .Simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles in flexible manufacturing systems using genetic algorithms , .” *Journal of Central South University of Technology*, Vol. 18, No. 5 , ,pp. 1473-1486.
- Conference on System Sciences, IEEE, Piscataway, NJ.10–1 , ,
- [14] Qiu, L. a. (2001). A Bi-Directional Path Layout for Conflict-Free Routing of AGVs. *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 10, , 2177–2195.
- [15] Qiu, L. a .(2001) .A Bi-Directional Path Layout for Conflict-Free Routing of AGVs.
- [16] Qiu, L. a“ .(2000) .Routing AGVs by Sorting .” *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications*, Vol. 3 , ,pp. 1465–1470.
- [17] Leong, C .(2001) .Simulation Study of Dynamic AGV-Container Job Deployment Scheme .” *Master of Science, National University of Singapore, Singapore*.
- [18] Moorthy, R. H.-G.-C.-P .(2003) .Cyclic Deadlock Prediction and Avoidance for Zone Controlled AGV System .” *International Journal of Production Economics*, Vol. 83 , , pp. 309–324.
- [19] -Qiu, L. H“ .(2002) .Scheduling and Routing Algorithms for AGVs: A Survey .” *International Journal of Production Research*, Vol. 40, No. 3 , ,pp. 745– 760.
- [20] Zhang, C. W .(2002) .Dynamic Crane Deployment in Container Storage Yard . *Transportation Research B*, Vol. 36 , ,pp. 537–555.
- [21] Cheng, Y. S“ .(2003) .Dispatching Automated Guided Vehicles in a Container Terminal .” *Technical Report, National University of Singapore.*,
- [22] Grunow, M. G“ .(2004) .Dispatching Multi-Load AGVs in Highly Automated Seaport Container Terminals .” *OR Spectrum*, Vol. 26, No 2 , ,OR Spectrum, Vol. 26, No 2.,
- [23] Murty, K. G .(2007) .Yard Crane Pools and Optimum Layouts for Storage Yards of Container Terminals .” *Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 1, No. 3 , ,pp. 190– 199.
- [24] Rashidi, H. a“ .(2005) .Applying the Extended Network Simplex Algorithm and a Greedy Search Method to Automated Guided Vehicle Scheduling .” *Proceedings of the 2nd Multidisciplinary International Conference*

- [44] Gu, W. L. (2020). A bio-inspired scheduling approach for machines and automated guided vehicles in flexible manufacturing system using hormone secretion principle, "Advances in Mechanical Engineering, Vol. 12, No 2", pp. 1-17.
- [45] Wook, B. J. (2000). A Pooled Dispatching Strategy for Automated Guided Vehicles in Port Container Terminals. "International Journal of Management Science, Vol. 6, No. 2, pp. 47-67.
- [46] Thurston, T. a. (2002). Distributed agent architecture for port automation. "Proceedings of the 26th annual international computer software and applications conference (COMPSAC'02), Oxford, August 26-29. IEEE Computer Society, Los Alamitos, pp 81-87.
- [47] Barberá, H. M.-P. (2010). Development of a flexible AGV for flexible manufacturing systems. "Industrial Robot, Vol. 37, No. 5, PP. 459-468.
- [48] Ali, M. a. (2010). Implementations Issues of AGVs in Flexible Manufacturing System: A Review. "Global Journal of Flexible Systems Management January Vol. 11, No. 1-2, pp 55-61.
- [49] De. Ryck, M. V. (2020). Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. "Journal of Manufacturing Systems 54, pp. 152-173.
- [50] Gao, J., Zheng, X., Gao, F., Tong, X & Han, Q. (06:22:08/16/08/2023, 2022). Heterogeneous Multitype Fleet Green Vehicle Path Planning of Automated Guided Vehicle with Time Windows in Flexible Manufacturing System. "Machines, (3)10, بازایی از 197. <https://www.mdpi.com/2075-1702/10/3/197>
- [51] Wang, Z & Zeng, Q. (2022). A branch-and-bound approach for AGV dispatching and routing problems in automated container terminals. "Computers & Industrial Engineering بازایی از 107968, 166, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835222000389>
- [52] Zhong, M., Yang, Y., Dessouky, Y & Postolache, O. (2020). Multi-AGV
- [35] Fazlollahtabar, H. E.-A. (2012). A Monte Carlo Simulation to Estimate TAGV Production Time in a Stochastic Flexible Automated Manufacturing System: A Case Study. "International Journal of Industrial and Systems Engineering, Vol. 12, No 3, pp. 243-258.
- [36] Héctor, J. I. (2014). Transport Operations in Container Terminals: Literature Overview, Trends, Research Directions and Classification Scheme. "European Journal of Operational Research, Vol. 236, No. 1, pp. 1-13.
- [37] Nageswararao, M. N. (2014). "Simultaneous Scheduling of Machines and AGVs in Flexible Manufacturing System with Minimization of Tardiness Criterion, . "Procedia Materials Science, Vol. 5, PP. 1492-1501.
- [38] Medikundu, N. N. (2017). Scheduling of Machines and Automated Guided Vehicles in FMS Using Gravitational Search Algorithm, . "Applied Mechanics and Materials, Vol. 867, PP. 307-313.
- [39] Chawla, V. C. (2018). Scheduling of Multi-Load AGVs In FMS By Modified Memetic Particle Swarm Optimization Algorithm. "Journal Of Project Management, Vol. 3, pp. 39-54.
- [40] Mehmi, J. N. (2018). Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0. "Procedia Manufacturing, Vol. 26, PP. 1077- 1086.
- [41] Demesure, G. D. (2018). Decentralized motion planning and scheduling of AGVs in an FMS. "IEEE Trans. Ind. Informat., Vol. 14, No. 4, IEEE Trans. Ind. Informat., Vol. 14, No. 4, ,
- [42] Rahimikelarijani, B. S.-M. (2019). A Mathematical Model for Multiple-Load AGVs in Tandem Layout. "Journal of Optimization in Industrial Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 67-80.
- [43] Maoudj, A. B. (2019). Distributed multi-agent scheduling and control system for robotic flexible assembly cells, . "Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 30, No. 4, pp. 1629-1644.

- scheduling for conflict-free path planning in automated container terminals .*Computers & Industrial Engineering* .106371 ,142 ,
بازیابی از
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835220301054>
- [53] Lin, Y., Xu, Y., Zhu, J., Wang, X., Wang, L & ,Hu, G .(2023) .MLATSO: A method for task scheduling optimization in multi-load AGVs-based systems .*Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* .79 ,
بازیابی از
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584522000849>
- [54] Cai, L., Li, W., Luo, Y & ,He, L ,2023) .
(03Real-time scheduling simulation optimisation of job shop in a production-logistics collaborative environment .
International Journal of Production Research بازیابی از 1393--1373 ,(5)61 ,
<https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2023777>
- [55] Hu, H., Yang, X., Xiao, S & ,Wang, F .
(01 ,2023)Anti-conflict AGV path planning in automated container terminals based on multi-agent reinforcement learning .
International Journal of Production Research بازیابی از 80--65 ,(1)61 ,
<https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1998695>