

مروری بر استفاده و چالش‌های خودروهای خودران (Automated Guided Vehicles)

سشسسیبیبیبیب

چکیده

در چند سده اخیر، پژوهش‌های گسترده‌ای به بررسی جنبه‌های فنی و سامانه‌های کنترلی خودروهای خودران اختصاص یافته است. امروزه این خودروها برای جابه‌جایی تجهیزات صنعتی، کالاها و کانتینرها به کار گرفته می‌شوند و راهکارهایی کارآمد و انعطاف‌پذیر ارائه می‌دهند. این مقاله به مرور مطالعات انجام‌شده درباره خودروهای هدایت خودکار (AGV) در صنایع تولیدی و سیستم‌های حمل‌ونقل بندری می‌پردازد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که علاوه بر مزایای استفاده از این خودروها، چالش‌های مهمی در زمینه مدل‌سازی مسائل و ارائه راه‌حل‌ها وجود دارد. نخستین چالش، پیاده‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی برای مدیریت چینش‌های مختلف در پایانه‌های کانتینری و سامانه‌های تولیدی است. چالش دوم به استفاده از فناوری‌های پیشرفته در این خودروها مربوط می‌شود که در صنعت ۴.۰ به کار گرفته می‌شوند. چالش سوم به راهبردهای مسیریابی پویا ارتباط دارد و چالش چهارم نیز توسعه الگوریتم‌های مؤثرتر برای حل مسائل مختلف مسیریابی این خودروها است. کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی خودروهای خودران، حمل و نقل، سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر، اتوماسیون بنادر.

۱. مقدمه

در چند دهه‌ی گذشته، تحقیقات بسیاری به خودروهای خودران¹ 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 حمل‌و نقل به ارمغان می‌آورند. در ادامه، به مرور مهمترین نقاط قوت و ضعف استفاده از AGV‌ها می‌پردازیم.

۱.۱. نقاط قوت استفاده از AGV‌ها

اتوماسیون و استفاده از رایانه‌ها، تاثیرات قابل توجهی را در سیستم‌های گوناگون داشته است. یکی از این سیستم‌ها، سیستم حمل‌و نقل می‌باشد که نقشی اصلی و یاری‌رساننده در جابه‌جایی دارد. در همین راستا، سیستم حمل‌و نقل، نقش به‌سزایی در دگرگونی‌های اجتماعی و اقتصادی هر کشور دارد. یکی از ابزارات پیشرفته‌ی تکنولوژی در این حوزه، خودروهای AGV است. (Akturk, 1996)

خودروهای AGV اغلب برای توسعه و متنوع ساختن سیستم حمل‌و نقل استفاده می‌شوند. (Broadbent, 1985) 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 همچنین در مناطق ذخیره‌سازی، 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 آنها در محیط‌های تولیدی جهت جابه‌جایی مواد و لوازم نیز مشاهده نمود. مهمترین فواید کلی استفاده از این خودروهای خودران در ادامه آمده است:

¹ Automated guided Vehicles

کاهش هزینه‌ی نیروی کار توسط خودروهای خودران AGV: افزایش بهره‌وری و کارآیی 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^۱:** 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.

مسیریابی در محیط‌های پیچیده: AGVها می‌توانند در چینش‌های پیچیده‌ای از جمله قفسه‌های باریک، تقاطع‌ها و محدوده‌هایی با دید کم حرکت کنند. این وسایل از حسگرها و فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند لیدار^۲ و دوربین‌ها استفاده می‌کنند تا موانع را تشخیص داده و به‌طور ایمن در مسیرهای مشخص شده حرکت کنند. علاوه بر این، این قابلیت به AGVها امکان می‌دهد تا در محیط‌های صنعتی با ترافیک بالا و فضای محدود نیز به‌طور کارآمد عمل کنند.

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^۳ 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 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., 2019)

۲.۱ نقاط ضعف 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 نقاط ضعفی نیز می‌باشد. مهم‌ترین این نقاط ضعف 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 هزینه‌ی مازادی باید موثر در هنگام رخداد یک از کارافتادگی یا اختلال هنگام یک عملیات، باشد.

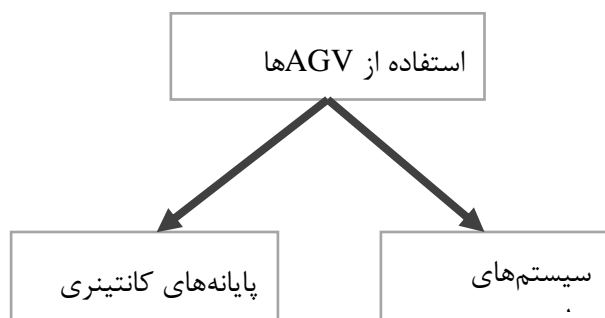
¹ Modular growth

² Lidar

³ Warehouse

نیازهای بسترها: افزایش استفاده از AGV ها بسیار وابسته به سیستم است؛ بدین معنی که سیستم باید توانایی بیشینه-سازی نقاط قوت مرتبط با AGV ها را افزایش دهد. استفاده ی AGV ها زمانی افزایش می یابد که آنها کارهای تکراری انجام دهند ولی اگر بستر آن جهت استفاده مهیا نباشد، سیستم نمی تواند از این سرمایه گذاری سودی کسب کند.

*** پیچیدگی ساخت AGV ها:** همانطور که اشاره شد، از AGV ها در چینش های پیچیده استفاده می گردد. طراحی



شکل ۱ رده ی استفاده از AGV ها

سیستم های مسیریابی با قابلیت دریافت های محیطی، تصمیم گیری بی درنگ، و سازگاری با شرایط، چالش بر انگیز است. فناوری های مسیریابی پیچیده، همانند اسکنر های لیزری، سیستم های بینایی^۱ و یا الگوریتم های موضعی همزمان و الگوریتم های نگاشتی (SLAM)، جهت برطرف نمودن این چالش ها مورد نیاز می باشند.

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 چرخه ی کاری AGV متناسب با تغییرات سریع و منظم در عملیات ها باشد، می تواند گزینه ی مناسبی هنگام خرید لوازم در کارخانه ها باشند. دو مساله ی بسیار مهم در حوزه خودروهای AGV، زمان بندی و مسیریابی می باشند که برای هر دو باید الگوریتم های بهینه، توسعه داده شوند. (Qiu, Routing AGVs by Sorting, 2000)

۳.۱ مسائل مرتبط با AGV ها

اولین مساله، زمان بندی^۲ AGV می باشد که شامل اختصاص دادن خودروها جهت ارسال به نقاط مختلف با توجه به یک جدول زمانی^۳ جهت کمینه کردن هزینه ی کل سفر است. هر سفر در جدول زمانی باید توسط یک خودرو کامل گردد. به یک خودرو نمی تواند بیش از یک سفر در یک زمان اختصاص داد. به طور معمول، ما تمایل داریم که درخواست ها را با شیفتهای و مسیرها ترکیب کنیم تا محدودیت های سرویس رسانی به روندهای تجاری ارضا شوند و هزینه های کل نیز

^۱ Vision Systems

^۲ Scheduling

^۳ Timetable

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.

دومین نوع از مسائل مرتبط با خودروها شامل مسیریابی^۱ خودروها (VRP^۲) می‌باشد و به اختصار معروف به مسئله‌ی است. مسئله‌ی VRP یک مسأله‌ی NP-Hard می‌باشد. این مسئله حاوی رده‌های بسیاری می‌باشد. (Dondo, 2003) (Tan, 2000) (Gribkovskaia, 2002) (Shih, 2001) (Hasama, 1998) (Toth, 2003) (Ghannadpour, 2017) هسو و هوآنگ^۳ (۱۹۹۴) مسأله‌ی مسیریابی برای عملیات‌های مقدماتی بر روی توپولوژی‌های راه‌های خاص مطالعه نمودند. (Hsu, 1994) این راه‌ها به صورت ستاره، حلقه، چینش خطی، H-شکل، بافت دوبعدی^۴، 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.

انگیزه‌ی اصلی این پژوهش، مرور مسائل زمان‌بندی و مسیریابی AGV‌ها 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 AGV‌ها سیستم‌های مختلف را مورد مطالعه قرار می‌دهد. در بخش آخر نیز به ارائه‌ی خلاصه و نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

۲. مرور ادبیات

AGV‌ها وسایلی هستند که علامت‌ها یا سیم‌کشی‌ها^۵ یا لیزرهایی که 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 بخش، آخرین تحقیقات انجام شده در حوزه استفاده از AGV‌ها روی زمین، نقد و بررسی می‌شوند. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که استفاده‌ی اصلی از AGV‌ها در اتوماسیون بنادر برای منتقل کردن خودکار کانتینرها و سیستم‌های تولیدی جهت جابه‌جایی انعطاف‌پذیر مواد، می‌باشد. (همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد).

۱.۲ استفاده از AGV‌ها در ترمینال کانتینری

*ترمینال‌های کانتینری در جهان نقش مهمی در توسعه اقتصادی کشورها ایفا می‌کنند. بنابراین، برای ساخت یک ترمینال کانتینری خودکار، استفاده از AGV‌ها برای جابه‌جایی کانتینرها ضروری است، زیرا این وسایل نقلیه خودکار می‌توانند کارایی و سرعت عملیات ترمینال را بهبود بخشیده و هزینه‌های نیروی انسانی را کاهش دهند. در این بخش، جدیدترین تحقیقات در زمینه به‌کارگیری AGV‌ها در ترمینال‌های کانتینری مرور می‌شود.

¹ Routing

² Vehicle Routing Problem

³ Hesu and Haung

⁴ Two-Dimensional-Mesh

⁵ wirings

***رشیدی و همکاران (۲۰۱۱)** در مرجع [۵] مسئله‌ی زمان‌بندی پویا و ایستای AGV ها را به عنوان یک مدل کمترین جریان هزینه^۱ مطرح نمودند. در این 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 ابتدا پیشرفت‌هایی بر روی الگوریتم سیمپلکس شبکه (NSA^۲) صورت گرفت 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 خوردوها (GVS^۳) ارائه گردید. برای ارزیابی فواید و اشکالات نسبی NSA+ در مقایسه با GVS این الگوریتم‌ها برای مسائل زمان‌بندی پویای خودروهای خودران به کار گرفته شدند. نتایج پژوهش حاکی از کاهش زمان انتظار و انتقال در راستای افق، بود. با وجود دستیابی به جواب بهینه عمومی، زمان اجر برای مسائل پویا به دلیل ساخت دوباره‌ی گراف، زیاد می باشد. در این مساله، امکان برخورد AGV ها و ترافیک در راه‌ها بررسی نگردید.

***در پژوهشی دیگر،** جهت حل مشکل ساخت مجدد گراف در مقاله‌ی [۵]، الگوریتم سیمپلکس شبکه‌ی پویا (DNSA) توسط رشیدی (۲۰۱۴) مطرح و برای زمان‌بندی AGV ها استفاده گردید. در این الگوریتم، گراف مورد نظر دوباره ساخته نشد و برخی کمان‌ها و پارامترهای جواب درختی پوشا به روز رسانی شدند. عملکرد روش پیشنهادی، برای مسائل زمان‌بندی پویا در بنادر بررسی شد. نتایج نشان دادند الگوریتم پیشنهادی به جواب بهینه عمومی می رسد و از NSA+ عملکرد بهتری دارد. با این حال، در برخی از مسائل با ابعاد بالا، تعداد عملیات‌های مورد نیاز برای بروز رسانی درخت پوشا، زیاد است و به همین علت، نیاز به مدیریت حافظه می باشد. همچنین، پیکربندی بندر، به صورت مسیرهای یک جهتی می باشد.

***در یک تحقیق،** دو مساله‌ی برنامه‌ریزی یکپارچه سازی تجهیزات پایانه‌های کانتینری و AGV های متعدد بدون تداخل را مورد بررسی قرار داد. (Postolache, 2020 & Zhong, Yang, Dessouky) نویسندگان، مساله را به صورت مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی با هدف کمینه نمودن تاخیر AGV ها، مدل‌سازی نمودند. این مدل بر پایه‌ی برنامه‌ریزی یکپارچه، مسیر بهینه و عدم تداخل خودروها می باشد. برای حل این مساله، محققین، یک الگوریتم ترکیبی بر پایه‌ی الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات با استفاده از منطق فازی، پیشنهاد نمودند. شبیه سازی پویای گره‌های مسیری نشان داد که مدل پیشنهادی می‌تواند مسائل دارای تداخل و تراکم AGV ها را حل نماید و قابل استفاده در ترمینال‌های کانتینری موجود می باشد.

***در تحقیقی دیگر،** مسئله‌ی مسیریابی و ارسال AGV ها بررسی گردید و یک مدل عدد صحیح ترکیبی جهت کمینه نمودن زمان تکمیل کارها^۴ و برای حل یک الگوریتم B&B براساس روش شاخه و کران ارائه گردید. همچنین یک الگوریتم ابتکاری حریصانه دو مرحله‌ای (TGH)^۵ جهت بهبود سرعت الگوریتم برای مسئله‌هایی 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 نمونه‌های ایستا و هم نمونه‌هایی پویا از بندر چینگدائو چین جهت ارزیابی کاربردهای عملی این الگوریتم، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن با دو رویکرد مرسوم برنامه‌ریزی FCFS^۶ و SETTF^۷ 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^۸ از جواب بهینه ۱۳.۳۹٪ نسبت به FCFS و ۲۱.۱۲٪ نسبت به SETTF)

^۱ Minimum Cost Flow

^۲ Network Simplex

^۳ Greedy Vehicle Search

^۴ Makespan

^۵ Two-staged Greedy Heuristic

^۶ First Come Frist service

^۷ Shortest empty travel time first

^۸ Optimality Gap

***در یک تحقیق دیگر،** برنامه‌ریزی مسیری بدون تداخل در پایانه‌های کانتینری خودکار (ACT) با استفاده از روش یادگیری تقویتی^۱، مورد بررسی قرار گرفت. (Hu, Yang, Xiao, & Wang, 2023) در این پژوهش، چینش ACT به صورت شبکه از گره‌ها می‌باشد و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح جهت کمینه سازی مسافت طی شده توسط AGV‌ها توسعه یافت و سپس جهت حل، یک الگوریتم یادگیری تقویتی چند عاملی براساس یک سیاست معین گرادیانی چند عاملی عمیق (MADDPG^۲) مطرح شد. نتایج این گزارش با دو رویکرد مطرح شده در نرم افزار ILOG CPLEX و الگوریتم دایجسترا با پنجره زمانی^۳ مقایسه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که زمان اجرای این الگوریتم از الگوریتم دایجسترا بیشتر، ولی خطای کمتری دارد. علاوه بر آن، زمان اجرای الگوریتم استفاده شده، از نرم افزار ILOG CPLEX به طور قابل توجهی کمتر بود.

***در یک پژوهش جدید** (Kong et al., 2024) به زمان‌بندی وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار AGV‌ها برای جرثقیل‌های دوگانه ی اسکله (TQC^۴‌ها) در پایانه‌های خودکار کانتینری (ACT‌ها) پرداخته شده است و به‌طور خاص تعاملات بین (AGV‌ها) و (TQC‌ها) را برای افزایش کارایی عملیاتی تحلیل گردید. در این مطالعه، از یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط MILP استفاده شده است که محدودیت‌های مربوط به حافظه‌های موقت^۵ در محوطه و تراکم AGV‌ها را در نظر می‌گیرد. آزمایش‌ها با حداکثر ۱۴ عدد AGV، ۵ عدد TQC و پیکربندی‌های مختلف تا ۱۳ عدد حافظه موقت در محوطه انجام شده است. الگوریتم ابتکاری جستجوی محلی چندآغازی^۶ (که روشی بر مبنای کاهش همسایگی (VND^۷)) متغیر است)، بهبود ۳۰ درصدی در کارایی عملیاتی هنگام استفاده از TQC‌ها در مقایسه با جرثقیل‌های اسکله ای QC عادی را نشان داد.

۲.۲ استفاده از AGV‌ها در سیستم‌های تولیدی انعطاف پذیر

در این بخش آخرین دستاوردهای محققان در کاربرد AGV‌ها در سیستم‌های تولید مطالعه و مورد بررسی قرار می‌گیرند.

***در یک مطالعه ی دیگر،** به مسئله‌ی کمینه نمودن کل مسافت طی شده و انرژی مصرف شده توسط AGV‌ها چند نوعی در کارگاه‌های انعطاف‌پذیر صنعتی پرداخته شد (Han, 2022 & Gao, Zheng, Gao, Tong). 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 بهینه‌سازی جهت مدلسازی مسئله و الگوریتمی فرا ابتکاری بر اساس الگوریتم ژنتیک و جستجوی محلی با ابعاد بالا (GA-LNS^۸) ارائه شد. نتایج نشان دادند که استفاده از چندین نوع از خودروها، می‌تواند مصرف سوخت را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

***در پژوهشی،** مسئله‌ی زمان بندی AGV‌ها در سیستم‌های خودکار نگهداری و بازیابی (AS/AR^۹) را مورد بررسی قرار داد. (Lin, et al., 2023) در این پژوهش که در یک سیستم تولیدی منعطف شبیه‌سازی شده با ۲۰ ردیف از قفسه‌ها (هر ردیف شامل ۵ عدد قفسه) انجام گردید، الگوریتم برنامه ریزی وظایف برای AGV‌های چند محموله‌ای

¹ Reinforcement Learning

² Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient

³ Time windows based Dijkstra algorithm

⁴ Tandem Quay Cranes

⁵ Buffer

⁶ Multi Local Search Algorithm

⁷ Variable Neighborhood Descent

⁸ Genetic Algorithm- Large-scale Neighborhood Search

⁹ Automatic Storage and Retrieval System

(MLATSO)^۱ بر اساس الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب (NSGA)^۲، مطرح شد. نتایج مطالعه، با الگوریتم ازدحام ذرات ممیتیک تغییر یافته (MMPSO)^۳ مقایسه گردید. زمان 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^۴ تمرکز داشته است. (Cai, Li, Luo, & He, 2023) 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^۵) جهت پیش بینی زمان مورد نیاز برای انجام صفی^۶ 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.

*** در پژوهشی دیگر** (Ahmadi-Javid et al., 2024)، به زمان بندی وسایط انتقال دهنده^۷ در کارگاه های کاری پرداخته شد. در این تحقیق، به دلیل استفاده از انتقال دهنده های ناهمزا^۸ در مقابل انتقال دهند های متعارف همزا^۹ سرعت AGV ها و ربات های متقل کننده مختلف بوده و از لحاظ کارکرد، برخلاف ماشین های همگون، متفاوت با یکدیگر هستند. به دلیل استفاده از این ماشین های ناهمزا، پیچیدگی مساله افزایش یافته ولی در مقابل کارایی کارگاه کاری نیز بهبود گردیده است. برای کمینه نمودن زمان کل عملیات، یک مدل عدد صحیح ترکیبی خطی (MILP) توسعه گردید و این مساله با یک راه حل مبتنی بر شاخه و کرانه حل گردید. در این الگوریتم شاخه و کرانه، برای حد پایین، یک روش ابتکاری دو سطحی ارائه شد. سپس، جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، با حل کننده ی CPLEX 12.1 مقایسه گردید. در ۴۰ آزمایش انجام شده، در تمامی آزمایشات، الگوریتم پیشنهادی زود تر به جواب بهینه رسید.

۳. نتایج بدست آمده از پژوهش ها

در این بخش به ارزیابی پژوهش های انجام شده، پرداخته می شود و سپس نتایج حاصل از این ارزیابی ها، در قالب مشاهداتی ارائه می گردد.

۱.۳ مقایسه نتایج کلی

در این بخش به شرح نتایج پژوهش های اصلی در دو حوزه ی استفاده از AGV ها در پایانه های کانتینری و محیط های تولیدی پرداخته می شود. 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:

¹ Multi-Load AGVs Task Scheduling Optimization

² Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

³ Modified Memetic Particle Swarm Optimization

⁴ Job Shop

⁵ Processing Unit

⁶ Queue

⁷ Transporter

⁸ Heterogeneous

⁹ Homogenous

سال نام پژوهشگر (سال)، رویکرد مدل سازی و راه حل ها (الگوریتم/روش/برنامه کامپیوتری)، ابعاد مسئله و نتایج تجربی. مهم ترین نتایج بدست آمده از بررسی جدول - ۱ را می توان در قالب مشاهدات زیر خلاصه نمود:

مشاهده-۱: همانطور که در جدول ۱ مشهود است، در اکثر تحقیقات از برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی جهت مدل سازی استفاده شده است.

مشاهده-۲: 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 و (د) مسائل مربوط به ارسال AGV ها.

مشاهده-۳: در مسائل با توپولوژی های مسیری کلی، بر اساس چینش ترمینال های کانتینری، روش های حل به سه دسته ، شامل روش های پنجره زمانی، ایستا و پویا، تقسیم بندی می شوند

مشاهده-۴: در مسائل بهینه سازی با یک توپولوژی مسیر خاص، برای چینش بنادر، سه نوع توپولوژی، شامل دایره ای، خطی و مشبک را می توان طراحی و توجه نمود.

***مشاهده-۵:** تا به امروز، بزرگترین مسئله توسط (Lin, et al., 2023) با تعداد ۳۵ AGV حل گردیده است.

مشاهده-۶: AGV های چند ظرفیتی به ندرت در محیط های تولید استفاده می شوند. (Chawla, 2018). دلیل آن ، این است که بسیاری از سیستم های تولید نیاز به اجرای جواب های بهینه با انعطاف پذیری بالا می باشند.

***مشاهده-۷:** 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 نظایر آن می باشند.

***مشاهده-۸:** محیط های پویا جهت زمان بندی و مسیریابی AGV ها به ندرت هم در اتوماسیون بنادر و هم سیستم های تولیدی دیده شده است.

***مشاهده-۹:** روش های پیشنهادی در سیستم های AGV در آزمایشگاه مطالعه گردیدند و کاربردها در محیط های صنعتی کم می باشد.

***مشاهده-۱۰:** مساله ی تداخل و وقفه ی AGV ها به دلیل زیاد شدن تعداد پارامتر ها و محدودیت های، در مسائل کمی مورد بررسی قرار گرفته اند، با وجود اینکه در دنیای واقعی، تداخل و یکی از رایج ترین چالش های استفاده از AGV ها می باشد.

***مشاهده-۱۱:** در روش های مبتنی بر شاخه و کرانه، از روش های ترتیبی^۱ بیشتر استفاده گردیده است. این رویکرد، باعث کند بودن شدن پروسه ی جستجوی جواب می گردد. از روش های شاخه و کرانه مبتنی بر محاسبات موازی^۲ در پژوهش ها، جهت حل مدل عدد صحیح مختلط کمتر استفاده شده است.

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. (مشاهدات ۱ الی ۸) در این سیستم های، میتوان تعداد AGV متغیر و تعداد زیادی خطوط عبوری به همراه عابرین در حرکت کنار خطوط عبوری داشت.

¹ Sequential

² Parallel Branch and Bound

همچنین سومین چالش، کار بر روی رویکردهایی جهت زمان‌بندی پویا و مسیریابی بر پایه‌ی شبیه‌سازی دو لایه‌ای است. (مشاهده-۱۵) این رویکردها در دو مرحله انجام می‌پذیرد. در قدم اول در شبیه‌سازی در زمان حل هر مساله‌ی مسیریابی، زیر شبیه‌سازی‌ها برای هر مسیر جایگزین تولید می‌گردند. سپس در مرحله دوم، عملکردهای تجربی توسط این زیر شبیه‌سازی‌ها جهت ساخت حل مسیری در شبیه‌سازی‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چهارمین چالش، توسعه‌ی الگوریتم‌های بهینه برای مسائل عملی گوناگون مسیر یابی AGV ها می‌باشد. (مشاهده-۱۶) یکی از گستره‌های 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 AGV ها 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, 2020) این مقاله، نشان می‌دهد که سیستم‌های AGV یک موضوع جدید برای پژوهش در حوزه‌ی اتوماسیون بنادر و سیستم‌های 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

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

مرجع	مدل (الگوریتم/روش/برنامه)	ابعاد مساله (تعداد)	نتایج تجربی
(Zhong, Yang, & Dessouky, 2020)	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 ^۱	کارایی الگوریتم نسبت به الگوریتم های ژنتیک هم در ابعاد پایین و هم بالا بسیار بهتر بود.
(Zeng, & Wang, 2022)	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, 2023)	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
(Kong et al., 2024)	برنامه ریزی عدد صحیح مختلط و حل با روش جستجوی چند آغازی	۱۴-۱۱ AGV ، ۵ TQC ، ۱۳-۰ حافظه موقت در محوطه	۳۰ درصد افزایش در کارایی عملیاتی

¹ Yard Crane

جدول 2 - تحقیقات اصلی انجام شده در حوزه ی استفاده از AGV ها در سیستم های تولیدی منعط

مرجع	مدل (الگوریتم/روش/برنامه)	ابعاد مساله (تعداد)	نتایج تجربی
(Gao, Zheng, Gao, Tong, & Han, 2022)	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, 2023)	برنامه ریزی بی درنگ تعدادی AGV و تعدادی پردازنده با قابلیت آماده سازی به روز رسانی وظایف	۲ AGV 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 et al., ۲۰۲۳)	برنامه ریزی AGV چند محموله ای با حل بر اساس الگوریتم ژنتیک NSGA	5-35 عدد AGV هر یک با ۵ یا ۱۰ ظرفیت، ۱۰-۷۰ وظیفه در هر آزمایش	الگوریتم زمان اجرای بیشتری نسبت به MMP SO ولی دقت بالاتری داشت.
(Ahmadi-Javid et al., 2024)	مدلی عدد صحیح ترکیبی خطی و حل با الگوریتم شاخه و کران با حد پایین دو مرحله ای	۲ نوع انتقال دهنده، ۴ ماشین، وظایف ۸-۵، عملیات ۲۱-۳۶	در تمامی آزمایشات، روش پیشنهادی از مدل MILP مرسوم بهتر عمل نمود ولی از مدل ارضای محدودیت (CP) بهتر عمل ننمود.

9. Tan, K. C. (۲۰۰۰). Heuristic Methods for Vehicle Routing Problem with Time Windows." *Proceedings of the 6th International Symposium on Artificial Intelligent in Engineering*, ۲۸۱-۲۹۵ ,
10. Ghannadpour, S. F. (۲۰۱۷). The Special Application of Vehicle Routing Problem with Uncertainty Travel Times: Locomotive Routing Problem ., *Volume 5, No. 2*, ۱۱۹-۱۳۶ ,
11. Hsu, W. a. (۱۹۹۴). Route Planning of Automated Guided Vehicles ." *In Proceedings of Intelligent Vehicles, Paris, France*, ۴۸۵-۴۷۹ ,
12. Böse, J. R. (۲۰۰۰). Vehicle Dispatching at Seaport Container Terminals Using Evolutionary Algorithms ." *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE, PiSCataway, NJ* , ۱۰-۱
13. 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.
14. Qiu, L. a. (۲۰۰۱). A Bi-Directional Path Layout for Conflict-Free Routing of AGVs.
15. Qiu, L. a. (۲۰۰۰). Routing AGVs by Sorting ." *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Vol. 3* , pp. 1465-1470.
16. Leong, C. (۲۰۰۱). Simulation Study of Dynamic AGV-Container Job Deployment SCHEME ." *Master of Science, National University of Singapore, Singapore*.
17. Moorthy, R. H.-G.-C.-P. (۲۰۰۳). Cyclic Deadlock Prediction and Avoidance for Zone Controlled AGV System ." *International Journal of Production Economics, Vol. 83* , pp. 309-324.
18. -Qiu, L. H. (۲۰۰۲). Scheduling and Routing Algorithms for AGVs: A Survey ." *International Journal of Production Research, Vol. 40, No. 3* , pp. 745- 760.
1. Akturk, M. S. (۱۹۹۶). Scheduling of automated guided vehicles in a decision making hierarchy . *International Journal of Production Research, Vol. 34*, ۵۹۱-۵۷۷ ,
2. Broadbent, A. B. (۱۹۸۵). Free Ranging AGV Systems: Promises, Problems and Pathways ." *In Proceedings of the 2nd International Conference on Automated Materials Handling, IFS, Springer*, ۲۳۷-۲۲۱ ,
- Edrissi A., A. M. (۲۰۱۹). Electric-vehicle car-sharing in one-way car-sharing systems considering depreciation costs of vehicles and chargers *International Journal of Transportation Engineering, Volume 7, No. 2* , ۱۲۷-۱۳۸
3. Qiu, L. a. (۲۰۰۰). Routing AGVs by Sorting . *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Vol. 3*, ۱۴۷-۱۴۶۵ ,
4. Dondo, R. M. (۲۰۰۳). An Optimal Approach to the Multiple-Depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Window and Capacity Constraint *Latin American Applied Research, Vol. 33*, ۱۳۴-۱۲۹ ,
5. Toth, P. (۲۰۰۳). The Vehicle Routing Problem *Discrete Math. SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics) Press, Philadelphia, PA*.
6. HaSAMA, T. K. (۱۹۹۸). 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*.
7. Shih, L. a. (۲۰۰۱). A Routing and Scheduling System for Infectious Waste Collection ." *Environmental Modelling & Assessment, Vol. 6* , ۶۹-۲۶۱
8. Gribkovskaia, I. H. (۲۰۰۲). Models for Pick-Up and Deliveries from Depots with Lasso Solutions ." *Working Paper, Molde University College, Norway*.

- Industrial Management and Data Systems*, Vol. 114, No. 9 ,pp. 1378–1395.
28. Zhicheng, B. W“ .(۲۰۱۴) .Modified Hungarian Algorithm for Real-Time ALV Dispatching Problem in Huge Container Terminals .*Journal of Networks*, Vol. 9, No. 1 , ,pp. 123–130.
 29. Rashidi, H. .(۲۰۱۶) .Vehicle SCheduling in Port Automation: Advanced Algorithms for Minimum Cost Flow Problems *Second Edition*. CRC Press, New York .
 30. Nicola, A. E .(۲۰۱۷) .The Maximum Parametric Flow in DiSCretetime Dynamic Networks .” *Fundamenta Informaticae*, Vol. 156, No. 2 ,pp. 125-139.
 31. Rahman, H. and Nielsen, I.(۲۰۱۹) . . “SCheduling Automated Transport Vehicles for Material Distribution Systems ,.”*Applied Soft Computing*, Vol. 82 ,pp. 1-17.
 32. Corr  a, A. L .(۲۰۰۷) .SCheduling and Routing of Automated Guided Vehicles: A Hybrid Approach .*Computers & Operations Research*, Vol. 34 ,pp. 1688–1707.
 33. Chaudhry, A. C“ .(۲۰۱۱) .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.
 34. Fazlollahtabar, H. E.–A“ .(۲۰۱۲) .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.
 35. H  ctor, J. I.(۲۰۱۴) .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.
 36. Nageswararao, M. N“ .(۲۰۱۴) .Simultaneous SCheduling of Machines and AGVs in Flexible ManufACTuring System with Minimization of
 19. Zhang, C. W .(۲۰۰۲) .Dynamic Crane Deployment in Container Storage Yard . *Transportation Research B*, Vol. 36 ,pp. 537–555.
 20. Cheng, Y. S“ .(۲۰۰۳) .Dispatching Automated Guided Vehicles in a Container Terminal .” *Technical Report*, National University of Singapore.,
 21. Grunow, M. G“ .(۲۰۰۴) .Dispatching Multi-Load AGVs in Highly Automated Seaport Container Terminals .”*OR Spectrum*, Vol. 26, No 2 ,OR Spectrum, Vol. 26, No 2.,
 22. Murty, K. G .(۲۰۰۷) .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.
 23. Rashidi, H., Tsang E.P.K., “ .(۲۰۰۵) .Applying the Extended Network Simplex Algorithm and a Greedy Search Method to Automated Guided Vehicle SCheduling .”*Proceedings of the 2nd MultidiSCiplinary International Conference on SCheduling: Theory & Applications*, New York University, Vol. 2 , ,pp. 677–692.
 24. Nguyen, V. D“ .(۲۰۰۹) .A Dispatching Method for Automated Lifting Vehicles in Automated Port Container Terminals .”*Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56 ,pp. 1002–1020.
 25. Rashidi, H .(۲۰۱۰) .SCheduling Single-Load and Multi-Load AGVs in Container Terminals , , *Amir-Kabir Journal of SCience and Technology*, Vol. 42, No. 2 ,pp. 1–10.
 26. Homayouni, S. T“ .(۲۰۱۱) .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.
 27. Wang, Z. X“ .(۲۰۱۴) .A Decision Support Method for Internal Truck Employment .,”

45. Thurston, T. a^a. (۲۰۰۲). 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.
46. Barberá, H. M.-P. (۲۰۱۰). Development of a flexible AGV for flexible manufACTuring systems. " *Industrial Robot*, Vol. 37, No. 5 ,PP. 459 -468.
47. Ali, M. a. (۲۰۱۰). 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.
48. De. Ryck, M. V. (۲۰۲۰). Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques *Journal of ManufACTuring Systems* 54 ,pp. 152-173.
49. Gao, J., Zheng, X., Gao, F., Tong, X & ,Han, Q. (۰۶:۲۲:۰۸/۱۶/۰۸/۲۰۲۳ , ۲۰۲۲) Heterogeneous Multitype Fleet Green Vehicle Path Planning of Automated Guided Vehicle with Time Windows in Flexible ManufACTuring System. *Machines* ۱۰ (۳), ۱۹۷. بازیابی از <https://www.mdpi.com/2075-1702/10/3/197>
50. Wang, Z & ,Zeng, Q. (۲۰۲۲). A branch-and-bound approach for AGV dispatching and routing problems in automated container terminals. *Computers & Industrial Engineering* ۱۰۷۹۶۸ , ۱۶۶ , <https://www.Sciencedirect.com/SCience/article/pii/S0360835222000389>
51. Zhong, M., Yang, Y., Dessouky, Y & , Postolache, O. (۲۰۲۰). Multi-AGV Scheduling for conflict-free path planning in automated container terminals. *Computers & Industrial Engineering* ۱۰۶۳۷۱ , ۱۶۲ , retrieve from <https://www.Sciencedirect.com/SCience/article/pii/S03608352220301054>
52. Lin, Y., Xu, Y., Zhu, J., Wang, X., Wang, L & , Hu, G. (۲۰۲۳). MLATSO: A method for task Scheduling optimization in multi-load AGVs-Tardiness Criterion , *Procedia Materials Science*, Vol. 5 ,PP. 1492-1501.
37. Medikundu, N. N^a. (۲۰۱۷). Scheduling of Machines and Automated Guided Vehicles in FMS Using Gravitational Search Algorithm , " *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 867 ,, PP. 307-313.
38. Chawla, V. C^a. (۲۰۱۸). Scheduling of Multi-Load AGVs In FMS By Modified Memetic Particle Swarm Optimization Algorithm. " *Journal Of Project Management*, Vol. 3 ,pp. 39–54.
39. Mehami, J. N. (۲۰۱۸). Smart automated guided vehicles for manufACTuring in the context of Industry 4.0. " *Procedia ManufACTuring*, Vol. 26 ,, PP. 1077- 1086.
40. Demasure, G. D. (۲۰۱۸). 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. ,
41. Rahimikelarijani, B. S.-M^a. (۲۰۱۹). A Mathematical Model for Multiple-Load AGVs in Tandem Layout. " *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, Vol. 13, No. 1 ,pp. 67-80.
42. Maoudj, A. B^a. (۲۰۱۹). Distributed multi-agent Scheduling and control system for robotic flexible assembly cells , " *Journal of Intelligent ManufACTuring*, Vol. 30, No. 4 ,pp. 1629-1644.
43. Gu, W. L^a. (۲۰۲۰). 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.
44. Wook, B. J. (۲۰۰۰). A Pooled Dispatching Strategy for Automated Guided Vehicles in Port Container Terminals. " *International Journal of Management Science*, Vol. 6, No. 2 , pp. 47–67.

- based systems *Robotics and Computer-Integrated ManufACTuring* از بازیابی , ۷۹, <https://www.Sciencedirect.com/SCience/article/pii/S0736584522000849>
53. Cai, L., Li, W., Luo, Y & ,He, L .(۰۳, ۲۰۲۳) . Real-time SCcheduling simulation optimisation of job shop in a production-logistics collaborative environment *International Journal of Production Research*—۱۳۷۳, (۵)۶۱, ۱۳۹۳. بازیابی از <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2023777>
54. Hu, H., Yang, X., Xiao, S & ,Wang, F ,۲۰۲۳) . Anti-conflict AGV path planning in automated container terminals based on multi-agent reinforcement learning *International Journal of Production Research* ۸۰--۶۵, (۱)۶۱, <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1998>
55. Ahmadi-Javid, A., Haghi, M., & Hooshangi-Tabrizi, P. (2024). Integrated job-shop SCcheduling in an FMS with heterogeneous transporters: MILP formulation, constraint programming, and branch-and-bound. *International Journal of Production Research*, 62(9), 3288–3304. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2230489>
56. Kong, L., Ji, M., Yu, A., & Gao, Z. (2024). SCcheduling of automated guided vehicles for tandem quay cranes in automated container terminals. *Computers & Operations Research*, 163, 106505. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106505>