**مروری بر استفاده و چالشهای خودروهای خودران**

**(Automated Guided Vehicles)**

|  |  |
| --- | --- |
| **امیررضا تقی زاده**  دانشجوی کارشناسی ارشد علوم کامپیوتر، دانشکده آمار، ریاضی و رایانه، دانشگاه علامه طباطبایی  **Email**: [a\_taghizadeh@atu.ac.ir](mailto:a_taghizadeh@atu.ac.ir) | **حسن رشیدی**  عضو هیئت علمی دانشکده آمار، ریاضی و رایانه، دانشگاه علامه طباطبایی  **Email:** [**hrashi@atu.ac.ir**](mailto:hrashi@atu.ac.ir)**; hrashi@gmail.com** |

**چکیده**

در چند قرن اخیر، تحقیقات بسیاری به مطالعه‌ی سخت افزار و نرم افزار خودروهای خودران 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 AGVاین خودروها در صنایع تولیدی و هم­چنین سیستم­های حمل و نقلی در بنادر می­پردازد. نتایج این پژوهش، نشان ­می­دهد که در کنار فواید استفاده از این خودروها، چندین چالش مهم در ارتباط با آنها، در مدل­سازی مسائل و راه حل­ها وجود دارد. اولین چالش، اجرای مدل شبیه­سازی جهت مدیریت چندین چینش[[1]](#footnote-1) هم در پایانه­های کانتینری و هم در سیستم­های تولیدی می­باشد. دومین چالش، به کارگیری تکنولوژی­های جدید در این نوع خودروها می باشد که در نسل ۴.۰ صنعت مورد استفاده ، قرار می گیرند. سومین چالش، مربوط به راهبردهای مسیریابی پویای این نوع خودروها است. چهارمین چالش مربوط به توسعه­ی الگوریتم­های کاربردی با کارایی بیشتر برای مسائل گوناگون مسیریابی خودروها است.

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

**.1مقدمه**

در چند دهه­ی گذشته، تحقیقات بسیاری به خودروهای خودران AGV[[2]](#footnote-2) 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 اخیرا شهرت آنها در بسیاری از حوزه­ها همچون حمل کالا­ها یا کانتینر­ها در بنادر و هم­چنین 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 آنها در محیط­های تولیدی جهت جا­به جایی مواد و لوازم نیز مشاهده نمود. مهمترین فواید کلی استفاده از این خودروهای خودران در ادامه آمده است:

* **خودروهای خودران AGV باعث کاهش هزینه­ی نیروی کار می­گردد:** افزایش بهره­وری و کارآیی مهم­ترین هدفی است که هر کسب­و کاری که تمایل به موفقیت دارد، آن­را 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 می توان 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**[[3]](#footnote-3):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 می توانند 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[[4]](#footnote-4) می­باشند. AGV­ها به گونه­ای طراحی و نصب می­شوند که به دور از نیروی کار، کارهاشان را به پایان رسانند. این ویژگی، نگرانی­های امن بودن این دستگاه­ها را تا حد زیادی کاهش می دهد. 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[[5]](#footnote-5) تمامی کارخانه­دارها و مدیران دارایی، نسبت به انتقال بیماری­های کارگران نگران شده­اند. از آنجایی که انسان­ها یک راه موثر برای انتقال عفونت می باشند، 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 محیط ها 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 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.
* **نبود انعطاف پذیری:** اگر مسیر حرکت یک AGV با مشکلات پیش بینی نشده سریعا تغییر کند، زمان قابل توجهی نیاز خواهد بود که AGV خاموش گردد و دوباره جهت وفق داده شدن با جریان کار، زمان­بندی 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 عکس­العمل 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 مساله­ی 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, 2000)

## ۳.۱ مسائل مرتبط با AGV ها

اولین مساله زمان بندی[[6]](#footnote-6) AGV می­باشد که شامل اختصاص دادن خودروها جهت ارسال به نقاط مختلف با توجه به یک جدول زمانی[[7]](#footnote-7) جهت کمینه کردن هزینه­ی کل سفر است. هر سفر در جدول زمانی باید توسط یک خوردو 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.

شکل1 رده­ی استفاده از AGVها

پایانه­های کانتینری

استفاده از AGVها در خشکی

سیستم­های تولیدی

دومین نوع از مسائل مرتبط با خودروها شامل مسیریابی[[8]](#footnote-8) خودروها می­باشد و به اختیار معروف به مسئله­ی VRP[[9]](#footnote-9) است. مسأله­ی VRP یک مساله­ی NP-Hard می باشد. این مسئله حاوی رده­های بسیاری می­باشد. (Dondo, 2003) (Toth, 2003) (Hasama, 1998) (Shih, 2001) (Gribkovskaia, 2002) (Tan, 2000) (Ghannadpour, 2017)

هسو و هوآنگ (۱۹۹۴) مساله­ی 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[[10]](#footnote-10)، دورهای مکعبی شکل، n-مکعبی و گراف­های کاملا همبند می­باشند. جهت تعیین نمودن نیروی محاسباتی و حافظه استفاده شده برای حل VRP در این پژوهش، پیچیدگی محاسباتی در نظرگرفته شده است و پیچیدگی فضای مورد نیاز نیر 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.

**.2مرور ادبیات**

AGVها وسایلی هستند که علامت­ها یا سیم­کشی­ها[[11]](#footnote-11) 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 می شوند. 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 1 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 AGVها جهت انتقال کانتینرهای داخل ترمینال استفاده کند. در این بخش، آخرین دست­آوردهای محققان در زمینه استفاده از AGVها در ترمینال­های کانتینری، مرور می­گردند.

مطالعه­ای موردی در بندر Pusan در یک پژوهش انجام شده و دو قانون توزیع مختلف برای AGVها ارائه گردیده است. اولین قانون توزیع انحصاری [[12]](#footnote-12) و قانون دوم نیز توزیع گروهی نامیده شدند. (Wook, 2000) در قانون توزیع انحصاری، به هر AGV فقط یک جرثقیل کنار اسکله­ای (QC)[[13]](#footnote-13) 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 AGVها 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 [[14]](#footnote-14)مسئله بهینه­سازی کمینه­سازی مسافت طی شده توسط AGV در نظر گرفته شده بود. در این تحقیق، دو مدل برنامه­ریزی عدد صحیح[[15]](#footnote-15) 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 حمل­و نقل کانتینرها بین اسکله[[16]](#footnote-16) و محوطه­ی کانتینری [[17]](#footnote-17) با استفاده از جرثقیل­های پشته ای[[18]](#footnote-18) (SC) و جرثقیل­های اسکله­ای (QC) بررسی گردید. (Böse, 2000) در این پژوهش؛ هدف، کاهش زمان سپری شده­ی کشتی­ها به وسیله­ی بیشینه­سازی بهره­وری از QC بود. نویسندگان یک نگرش زمان­بندی برای جابه­جایی از SCها به QCها را مورد آزمایش قرار دادند. انگیزه­ی استفاده از این نگرش، کمینه­سازی زمان بازگشت به یک کشتی بود. این نگرش، یک توزیع گروهی SC [[19]](#footnote-19) و پویا بود. در این نگرش، یک استراتژی پویا بود و برای تعدادی از QCها نیز، تعداد از پیش تعیین شده ای از SC میتوانست کار حمل­و نقل را به سرانجام رساند. بر اساس تعداد تخلیه و بارگیری کانتینرها، SCها می­توانستند در حالت دور دوگانه[[20]](#footnote-20) متحرک شوند. در این حالت، سفر خالی با وظیفه­های کانتینری برای بقیه­ی QCها جایگزین شدند. این تحقیق دو نوع شرایط متفاوت مرتبط با توزیع گروهی SCها را مورد بررسی قرار داد: تخصیص نیمه پویا (SDA)[[21]](#footnote-21) و تخصیص کاملا پویا (FDA)[[22]](#footnote-22). در SDA تعداد مشخصی SC به QCها برای فقط یک کشتی باری [[23]](#footnote-23) اختصاص داده شد؛ ولی در رویکرد FDA این تعداد به همه­ی کشتی­ها اختصاص داده شده­اند. مسائل توسط یک الگوریتم تکاملی [[24]](#footnote-24) به کمک شبیه سازی [[25]](#footnote-25)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 AGVها و چرثقیل­های QC و جرثقیل­های دروازه­ای[[26]](#footnote-26) (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[[27]](#footnote-27) و دیگری بر اساس الگوریتم جستجوی پرتوی ابتکاری[[28]](#footnote-28) ) 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 نزیک 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 AGVها را بررسی نمود و نتایج، تحت دو مقاله منتشر گردیدند. (Qiu, 2001) (Qiu, 2000) در این مقالات، دو توپولوژی مسیر با دو استراتژی زمان بندی مطرح شده و یک الگوریتم مسیر یابی بدون تداخل [[29]](#footnote-29) نیز پیشنهاد گردیده است. الگوریتم و استراتژی­ها در یک مطاله 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[[30]](#footnote-30) حرکت AGVها می­توانست افزایش یابد.

در یک تحقیق دیگر نیز یک الگوریتم چینش متبحرانه [[31]](#footnote-31) جهت ارسال AGVها (Leong, 2001) 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, 2003)این تحقیق بر اساس رویکرد موقوف و ادامه دادن[[32]](#footnote-32) 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 L. H., 2002) 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[[33]](#footnote-33) همانند مسأله کوتاه­ترین مسیر[[34]](#footnote-34) 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 کانتنری توسط خودرو های محموله ای طراحی گردیدند. (Zhang, 2002) در این مدل­ها، تعداد بسیاری محدودیت­های سخت[[35]](#footnote-35) 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 لاگرانزی[[36]](#footnote-36)، 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، مسئله­ی ارسال AGVها در بنادر کانتینری را بررسی نمود. نویسندگان، مساله را به عنوان یک مساله­ی جریان شبکه جهت کمینه کردن زمان انتظار AGV در لنگرگاه[[37]](#footnote-37) فرمول بندی نمودند. در این مدل، AGVهایی که یک یا دو کانتنر 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.

دریک 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, 2004) در این پژوهش، یک مدل برنامه­ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی (MILP)[[38]](#footnote-38) طراحی گردید. برخی قواعد اولویت­دار[[39]](#footnote-39) 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 اولیت دار نشان داد.

در یک تحقیق دیگر نیز، یک سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS)[[40]](#footnote-40) طراحی گردید که در آن یک رویکرد یکپارچه جهت انجام عملیات­های مختلف در بندرها، پیشنهاد گردید. (Murty, 2007) 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 می دهد. یک جزء از DSS حداقل تعداد خودرو ها 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 حمل­و نقل در بنادر، پیشنهاد گردید.

در یک تحقیق دیگر، مسئله­ی زمان­بندی پویا و ایستای AGVها به عنوان یک مدل کمترین جریان هزینه[[41]](#footnote-41) مطرح گردید. (Rashidi & Tsang, 2005) در این مدل، تابع هدف سه جمله دارد (زمان سفر AGV در طی مسیر پایانه، زمان انتظار AGVها در اسکله، و میزان تاخیر در انجام وظیفه) برای حل مدل، در این تحقیق مقداری ابتدا پیشرفت­هایی بر روی الگوریتم سیمپلکس شبکه (NSA[[42]](#footnote-42)) 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 خوردوها (GVS[[43]](#footnote-43)) 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)[[44]](#footnote-44) در پایانه­های کانتینری بنادر، مورد بررسی قرار گرفت. (Nguyen, 2009) خودروهای ALV قابلیت بالابردن کانتینرها توسط خودشان را دارند. این تحقیق، فضای مورد نیاز برای حافظه­ی موقت[[45]](#footnote-45) در محوطه کانتینری و اسکله، مورد مطالع قرار گرفت. در این تحقیق هم­چنین چگونگی ارسال­های آتی ALVها با استفاده از اطلاعات بارگیری و تخلیه بار ذخیره شده، مورد بررسی قرار گرفت. یکی مدل برنامه­ریزی عدد صحیح ترکیبی (MIPM)[[46]](#footnote-46) 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 [[47]](#footnote-47) 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 ALVها بر حالت چرخه­ی دوگانه­ی عملیات و ظرفیت حافظه­ی موقت را بررسی نمود.

در یک پژوهش دیگر، سه راه حل برای مساله­ی تک محمولهای [[48]](#footnote-48) و چند محموله­ای[[49]](#footnote-49) در پایانه­های کانتینری مطرح گردید. (Rashidi H. , 2010) مساله در این تحقیق به صورت یک مساله­ی بهینه­سازی ارضای محدودیت­ها (CSOP) [[50]](#footnote-50) 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 [[51]](#footnote-51) بسیار بزرگ خواهد بود و مساله با یک شبیه ساز تبرید (SAM[[52]](#footnote-52)) 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[[53]](#footnote-53) برای SAM و مساله، استفاده گردید. سومین جواب پیشنهادی، ترکیبی از NSA و SAM می­باشد. این جواب ترکیبی بر روی ظرفیت­های ناهمگن[[54]](#footnote-54) 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 پژوهشی دیگر، مساله زمان­بندی یکپارچه­ی خودروهای AGV و جرثقیل­های QC مورد مطالعه قرار گرفتند. (Homayouni, 2011) سپس، مساله به صورت یک مساله­ی برنامه ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی MILP فرمول­بندی شد. تابع هدف این مدل، کمینه نمودن بازه­ی زمانی تخلیه و بارگیری مجموعه از جرثقیل­های QC بود. این مدل به­وسیله­ی یک SAM تغییر کرده، حل گردید. در این پژوهش، تاثیرات دو مجموع از عوامل کنترلی[[55]](#footnote-55) و سه جریان خنک­کنندگی[[56]](#footnote-56) 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 زمان­بندی، به مراتب بالاتر می­باشد.

یک تحقیق دیگر، مدل بهینه­سازی چند محموله­ای (MOOM) جهت زمان­بندی مسئله جرثقیل­های پشته­ای SC خودران در پایانه­های کانتینری خودکار (ACT)[[57]](#footnote-57) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، مسائل حمل­و 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 مساله ی پنجره­ی زماندار با تخلیه و بارگیری در ترتیب دوتایی برنامه ریزی خطی[[58]](#footnote-58) فرمول­بندی گردید. در این مدل، مجموع وزن­دار هر هدف در تابع هدف، به عنوان نمونه­ی منتخب از مسئله­ی زمان بندی خودکار SC می­باشد. یک الگوریتم دقیق بر اساس شاخه و کران با روش تولید ستون[[59]](#footnote-59) جهت حل این مساله توسعه داده شد.

یک تحقیق دیگر نیز یک مدل و استراتژی مساله­ی تصاحب و اجاره کامیون­های درونی (IT)[[60]](#footnote-60) با ترتیب را مورد بررسی قرار داد. (Wang Z. X., 2014) در این تحقیق، مسئله­ی یکپارچه­ی زمان­بندی و تخصیص منابع به دو مرحله تقسیم گردید و یک رویکرد ابتکاری دو مرحله­ای، توسعه یافت. مرحله اول، عملیات­های روزانه­ی ITها را مشخص می­نماید و در مرحله دوم، استراتژی به کارگیری کامیون، با توجه به نتیجه­ی مرحله­ی اول، به کار گرفته می­شود.

طی یک پژوهش دیگر، مساله­ی تخصیص کانتینرهای حمل و نقلی به خودروهای بالا برنده (ALV) بررسی گردید. (Zhicheng, 2014) نویسندگان یک مدل اعزام بی­درنگ جهت اختصاص دادن کانتینرها به پایانه­ها به ALV ارائه نمودند. در این مدل، مجموعه­ای از رویدادها باعث فعال‌سازی جدید مکانیزم اعزام ALV می­شود. در این تحقیق، از یک الگوریتم منطبق شده مجارستانی ([[61]](#footnote-61)AHA) 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 & Tsang, 2016) در 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 می­دهد. این پژوهش، مجموعه­ای جامع از مسائل زمان بندی پویا و ایستا در حوزه ی 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 می­باشد. در این تحقیق برای متخصصان، الگوریتم­های بهینه و نوآورانه جهت حل مساله­ی کمترین ارائه گردیده است. هم­چنین برای دانشجویان، یک مرور در حوزه ی تحقیق در عملیات در کنار فرمول­بندی روان از مسائل اتوماسیون بنادر، به ارمغان می­آورد. محتوا این کتاب پژوهشی به دو بخش عمده تقسیم شده است. اولین بخش، تصمیمات گوناگون برای مسائل مدرن پایانه­های کانتینری مطرح می­گردند و در بخش دوم، این تصمیمات به پنج مساله زمان بندی طبقه­بندی می­شوند.

طی یک تحقیق دیگر، مساله­ی جریان شبکه­ی پارامتری در مدل­های گرافی مورد مطالعه قرار گرفت (Nicola, 2017) در این تحقیق یک الگوریتم جهت مساله­ی بیشینه­سازی پیشنهاد شد که می تواند در محیط­های گسسته­ی پویا به کار رود. این الگوریتم پیشنهادی، به صورت تکراری بیشترین جریان در شبکه ی پویا را برای مجموعه از مقادیر پارامترهای تعیین می­کند. در هر تکرار، الگوریتم یک نقطه­ی شکستگی[[62]](#footnote-62) جدید برای تابع مقدار بیشترین جریان پویای پارامتری، محاسبه می کند. الگوریتم هم­چنین بیشترین جریان را با شرط کمینه شدن زمان جا­به­جایی[[63]](#footnote-63) محاسبه می­نماید. جریان پویا در شبکه زمان-فضا از طریق سریع­ترین پرتابه از گره مبدا به مقصد، افزوده می­شود. (با شرط اینکه زمان گسترش شبکه افزایش چشمگیر نگردد)

در یک پژوهش دیگر، رویکردی برای مساله­ی زمان بندی خودروها جهت اطمینان حاصل نمودن از جریان یکنوخات کانتینرها در پایانه­های کانتینری، توسعه داده شد. ( Rahman, H. and Nielsen, I. , 2019) در این رویکرد، یک مدل برنامه­ریزی عدد صحیح ترکیبی و دو الگوریتم فرا ابتکاری برای دستیابی به کیفیت زمان­بندی­ها 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 شده­ی انجام وظیفه کانتنری وجود دارد. این پژوهش هم­چنین رویکردی را جهت اطمینان از توزیع یکنواخت کانتینرها به شیوه­ی یکپارچه، پیشنهاد داد. همین­طور، بهبودهایی در عملکرد عملیاتی مشاهده گردید. از این روش می­توان برای حرکت یکنواخت مواد در محیط­های تولیدی، استفاده نمود.

یک پژوهش دیگر، دو مساله­ی برنامه ریزی یکپارچه سازی تجهیزات پایانه های کانتینری و AGVهای متعدد بدون تداخل را مورد بررسی قرار داد. (Zhong, Yang, Dessouky, & Postolache, 2020) نویسندگان، مساله را به صورت مدل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی با هدف کمینه نمودن تاخیر AGVها، مدلسازی نمودند. این مدل بر پایه­ی برنامه­ریزی یکپارچه، مسیر بهینه و عدم تداخل خودروها می­باشد. 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 AGVها را حل نماید و قابل استفاده در ترمینال­های کانتینری موجود می باشد.

در یک تحقیق گسترده، مسئله­ی مسیریابی و ارسال AGVها بررسی گردید و یک مدل عدد صحیح ترکیبی جهت کمینه نمودن زمان تکمیل کارها[[64]](#footnote-64) و برای حل یک الگوریتم B&B براساس روش شاخه و کران ارائه گردید. همچنین یک الگوریتم ابتکاری حریصانه دو مرحله ای (TGH)[[65]](#footnote-65) 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 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[[66]](#footnote-66) و SETTF[[67]](#footnote-67) مقایسه گردید. هم در مقیاس کوچک و هم در مقیاس بزرگ الگوریتم به طور قابل توجهی از دو ریکرد بهتر عمل می کند. (درصد فاصله[[68]](#footnote-68) از جواب بهینه ۱۳.۳۹٪ نسبت به FCFS و ۲۱.۱۲٪ نسبت به SETTF)

در یک تحقیق دیگر، برنامه­ریزی مسیری بدون تداخل در پایانه­های کانتینری خودکار (ACT) با استفاده از روش یادگیری تقویتی[[69]](#footnote-69)، 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[[70]](#footnote-70)) مطرح شد. نتایج این گزارش با دو رویکرد مطرح شده در نرم افزار ILOG CPLEX و الگوریتم دایجسترا با پنجره زمانی[[71]](#footnote-71) مقایسه گردید. مشاهد 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.

در یک پژوهش جدید (Kong et al., 2024) به زمان‌بندی وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار AGVها برای جرثقیل‌های دوگانه ی اسکله ( TQC[[72]](#footnote-72)ها) در پایانه‌های خودکار کانتینری( ACTها) پرداخته شده است و به‌طور خاص تعاملات بین( AGV ها) 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[[73]](#footnote-73) 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[[74]](#footnote-74)(که روشی بر مبنای کاهش همسایگی(VND[[75]](#footnote-75)) 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 AGV ها در سیستم های تولیدی انعطاف پذیر

در این بخش آخرین دستاوردهای محققان درکاربرد AGVها در سیستم­های تولیدی مطالعه و مورد بررسی قرار می­گیرند.

یک تحقیق، یک رویکرد ترکیبی[[76]](#footnote-76) جهت حل مساله زمان­بندی و مسیریابی AGVها بدون تداخل در یک ناحیه­ی تولید را مورد بررسی قرار داد. ( (Chaudhry, 2011) و (Corréa, 2007)) مساله به دو بخش اصلی و زیر مسئله تقسیم بندی شد. زمان­بندی همزمان به عنوان مسئله است و مسیریابی AGVها بدون هیچ تداخلی نیز یک زیر مساله می­باشد. بدین ترتیب، رویکرد ترکیبی شامل یک روش تجزیه می­باشد که به وسیله آن، زمان­بندی (یعنی همان مسئله­ی اصلی) توسط محدودیت­های برنامه­ریزی، فرمول­بندی می­شوند و مسیریابی بدون تداخل (یعنی همان زیر مسئله) نیز توسط برنامه­ریزی 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[[77]](#footnote-77) 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[[78]](#footnote-78)) ساخته شد. سیستم دارای یک سنسور مسیریابی لیزری جهت محلی سازی[[79]](#footnote-79) 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[[80]](#footnote-80)، انعطاف­پذیری و امن­بودن 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)[[81]](#footnote-81) در یک سیستم تولیدی انعطاف پذیر مورد بررسی قرار گرفت. (Chaudhry, 2011) تابع هدف مساله،‌ کمینه کردن زمان کار برای NCM ها و AGVها بود. این تحقیق، یک الگوریتم ژنتیک بر پایه گستره برگ [[82]](#footnote-82)(SBGA)[[83]](#footnote-83) 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 پیکرده­بندی پشت سر هم خودرو­های خودران (TAGV)[[84]](#footnote-84) جهت بهینه نمودن زمان تولید و جابه­جایی دستگاه­های مواد، تمرکز نمود. (Fazlollahtabar, 2012) نویسندگان از یک شبیه ساز مونت کارلو بهره بردند و یک پارامتر زمان موثر در سیستم تولید خودکار انعطاف پذیر (AFMS)[[85]](#footnote-85) بررسی شد. به دلیل پیکره بندی­های مختلف TAGV ها در AFMSها، 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 TAGVها 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، حمل­و 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 حمل­و نقلی که در وسایل جا­به­جایی مواد به کار می­روند، پرداخت. (Héctor, 2014) 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[[86]](#footnote-86) عملیات­های حمل­و 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 زمان­بندی AGVها و پیاده­سازی آن در سیستم­های تولیدی، کار شد. (Nageswararao, 2014) 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 ([[87]](#footnote-87)BPSVHA) توسعه داده شد. این الگوریتم جهت حل مساله­ی زمان بندی خودروها با توجه به اتخاذ یک تابع فاکتور استواری[[88]](#footnote-88) و کمینه­سازی میانگین تاخیر، استفاده گردید. نتایج تجربی و محاسباتی نشان داد که BPSVHA یک جواب بهتر برای روش­های موجود ارائه نمود.

در یک تحقیق دیگر، یک الگوریتم جستجوی فرا ابتکاری جاذبه­ای (MHGS)[[89]](#footnote-89) برای مساله­ی زمان­بندی همگام شده­ی ماشینها مطرح گردید. (Medikondu, 2017) 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)[[90]](#footnote-90) ترکیب شده با الگوریتم ممتیک(MA)[[91]](#footnote-91) را مورد بررسی قرار داد و یک راه حل معروف به الگوریتم بهینه­سازی ممتیک تغییر یافته ازدحام ذرات (MMPSO)[[92]](#footnote-92) ارائه نمود. (Chawla, 2018) هدف یافتن راه حل­های اولیه شدنی برای مساله­ی زمان­بندی AGVهای چند محموله­ای[[93]](#footnote-93) 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 [[94]](#footnote-94) در PSO و به هنگام جستجوی محلی [[95]](#footnote-95) 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 ۴.۰ که نسل جدید صنعت تولید می­باشد، تمرکز نمود. (Mehami, 2018) در این تحقیق از تکنولوژی اینترنتی که بر پایه­ی برچسب­های شناسایی فرکانس رادیو[[96]](#footnote-96) است، جهت نظارت و کنترل کیفیت حرکات، استفاده گردید. این تحقیق بر سه جنبه­ی مختلف تاکید دارد: قابلیت پیکره­بندی، شخصی­سازی[[97]](#footnote-97) 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 [[98]](#footnote-98) متمرکز برای مسائل زمان­بندی AGVها در سیستم­های تولید انعطاف­پذیر،‌ پیشنهاد نمود. (Demesure, 2018) 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 قبلا 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 AGV ها در طراحی جفتی [[99]](#footnote-99) توسعه داده شد. (Rahimikelarijani, 2019) این مدل، هر دو جریان حلقه­های intra.ring و inter.ring را کمینه می­نماید. مدل پیشنهادی توسط استراتژی حلقه­های متعادل شده[[100]](#footnote-100) 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 ابعاد 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, 2019) هدف از مسئله­ی زمان بندی، 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 پیشنهادی، عامل­ها[[101]](#footnote-101) ربات های خودران می­باشند. در طراحی این عامل­ها، پروتکل مذاکره به عنوان ارضا کننده هدف­های 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 زمان­بندی پویا تمرکز نموده است. (Gu, 2020) در این تحقیق، تعدادی ماشین و AGV با سرعتی مداوم در یک طبقه­ی فروشگاه، حرکت می­کنند. در این تحقیق یک مدل ریاضی با هدف کمینه­سازی بازه­ی زمانی ساخته و یک رویکرد بهینه­سازی برگرفته از زیست­شناسی (BIOA)[[102]](#footnote-102) جهت حل مساله در محیط­های تولیدی منعطف، ارائه می­شود. 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 ماشین­های AGV را بی­درنگ[[103]](#footnote-103) بهبود بخشید.

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 (Gao, Zheng, Gao, Tong, & Han, 2022). 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 ([[104]](#footnote-104)GA-LNS) ارائه شد. نتایج نشان دادند که استفاده از چندین نوع از خودروها، می تواند مصرف سوخت را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

در پژوهشی، مسئله­ی زمان بندی AGVها در سیستم­های خودکار نگهداری و بازیابی (AS/AR[[105]](#footnote-105)) 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 ([[106]](#footnote-106)MLATSO) بر اساس الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب(NSGA)[[107]](#footnote-107)، مطرح شد. نتایج مطالعه، با الگوریتم ازدحام ذرات ممتیک تغییر یافته (MMPSO)[[108]](#footnote-108) 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 زمان­بندی بی درنگ AGVها در کارگاه­های کاری [[109]](#footnote-109) تمرکز داشته است. (Cai, Li, Luo, & He, 2023) در این پژوهش تلاش بر حل مشکلاتی نظیر درواست­های تصادفی یا خرابی ناگهانی دستگاه­ها شده است. در این پژوهش از تعدادی پردازنده (PU[[110]](#footnote-110)) جهت پیش­بینی زمان مورد نیاز برای انجام صفی[[111]](#footnote-111) از وظایف اولویت­دار 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 پیش­بینی بهتر و دقیق تر AGV گردد.

در پژوهشی دیگر (Ahmadi-Javid et al., 2024)، به زمان بندی وسایط انتقال دهنده[[112]](#footnote-112) در کارگاه های کاری پرداخته شد. در این تحقیق، به دلیل استفاده از انتقال دهنده های ناهمزاد[[113]](#footnote-113) در مقابل انتقال دهند های متعارف همزاد[[114]](#footnote-114) سرعت AGVها 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 ناهمزاد، 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.

**.3نتایج 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 می­گردد.

## ۱.۳ مقایسه نتایج کلی

در این بخش به شرح نتایج پژوهش­های اصلی در دو حوزه­ی استفاده از AGVها در پایانه­های کانتینری و محیط­های تولیدی پرداخته می­شود. جدول-1 به پژوهش­های اصلی مربوط به تصمیم گیری، مسیریابی و زمان¬بندی خودروهای خودران AGVدر پایانه های کانتینری و جدول 2 نیز در محیط­های تولیدی می­پردازد. ستون­های دو جدول عبارتند از: سال نام پژوهشگر (سال)، رویکرد مدل­سازی و راه حل­ها (الگوریتم/روش/برنامه کامپیوتری)، ابعاد مسئله و نتایج تجربی. مهم ترین نتایج بدست آمده از بررسی جدول- 1 را می توان در قالب مشاهدات زیر خلاصه نمود:

* **مشاهده-۱:** این پژوهش نشان داد که بیشتر محققین بر روی استفاده از AGVها درون ترمینال های کانتینری تمرکز نموده اند. هم چنین پژوهش های بسیاری بر روی زمان بندی و مسیر یابی این خودروها تمرکز نموده است.
* **مشاهده-۲:** همانطور که در جدول ۱ مشهود است، در اکثر تحقیقات از برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی جهت مدلسازی استفاده شده است.
* **مشاهده-۳:** بزرگترین مسئله از نظر تعداد AGVها توسط (Rashidi H. , 2010) آزمایش شد و سپس (Zhang, 2002) در جایگاه دوم قرار دارد.
* **مشاهده-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 و (د) مسائل مربوط به ارسال AGVها.
* **مشاهده-۵:** 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-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
* **مشاهده-۷:** 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-۸:** فقط یک تحقیق بر روی چینش Tandem (Rahimikelarijani, 2019) انجام شده است.
* **مشاهده-۹:** تا به امروز، بزرگترین مسئله توسط (Lin, et al., 2023) با تعداد ۳۵ AGV حل گردیده است.
* **مشاهده-۱۰:** روش­های فرا ابتکاری به ندرت در سیستم­های تولیدی استفاده شدند. دلیل این موضوع آن است که این روش­ها نمی­توانند جواب بهینه عمومی برای مسئله پیدا نمایند؛ امری که در سیستم­های تولیدی بسیار مورد نیاز می باشد.
* **مشاهده-۱۱:** روش­های هوش مصنوعی به ندرت در سیستم­های تولید استفاده شده­اند. (Ali, 2010) این به دلیل عدم قدرت این روش­ها در پیدا نمودن جواب بهینه عمومی است. اکثر روش­های هوش مصنوعی بر پایه­ی روش های موضعی سازی [[115]](#footnote-115) است.
* **مشاهده-۱۲:** تکنولوژی جدید AGVها ، بر پایه صنعت نسل ۴ می­باشد.
* **مشاهده-۱۳:**AGVهای چند ظرفیتی به ندرت در محیط­های تولید استفاده می­شوند. (Chawla, 2018) . دلیل آن ، این است که بسیاری از سیستم­های تولید نیاز به اجرای جواب­های بهینه با انعطاف­پذیری بالا می باشند.
* **مشاهده-۱۴:** گستره­های مسئله­های مسیریابی خودروها برای AGVها در این پژوهش­ها دیده نشدند. این گستره­ها با توجه به زمان و ظرفیت خودروها و تعداد انبارها، نوع ارسال، خودرو با یا بدون بازگشت و کنترل خودرو، دسته بندی می­شوند. این دسته­بندی جهت مطالعه­ی مسائل گسترده تر دیگری، همچون

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **مرجع** | **مدل (الگوریتم/روش/برنامه)** | **ابعاد مساله (تعداد)** | **نتایج تجربی** |
| (Böse, 2000) | 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, 2000) | برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی (برنامه ی LINDO) | کشتی ها (یکی)،QC ها(دو)، AGVها(یک تا پنج)و کار ها کانتینری(۱۵ تا ۳۰) | ارسال گروهی بهتر از ارسال اختصاصی بود. |
| (Thurston, 2002) | مدل چند عاملی (برنامه ی ترکیب الگو) | کشتی (یکی) AGVها ۱۲ عدد | یک معماری چند عاملی توزیع شده که یک جواب شدنی را فراهم می کند. |
| (Zhang, 2002) | 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[[116]](#footnote-116) |
| (Cheng, 2003) | 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, 2004) | 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 اولتیی تقریبا برای چینش های کوچک یکسان بود. |
| (Nguyen, 2009) | برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی (برنامه ی ILOG CPLEX) | یک کشتی، ۱ تا ۴ ALV برای هر QC و تعداد عملیتات 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. , 2010) | 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 , 2016] | مسئله ی زمانبندی با NSA و توسیع هایش | یک کشتی و ۵۰ AGV | جواب بهینه برای مسائل پویا و ایستا به دست آمدند. |
| ( Rahman, H. and Nielsen, I. , 2019) | برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی بر اساس یک روش فرا ابتکاری | یک کشتی و ۲۰ عدد AGV | تقاوت بین زمان ملاقات و زمان واقعی عملیات برای وظایف تحویل کانتینر کاهش یافتند. |
| (Zhong, Yang, Dessouky, & Postolache, 2020) | مدل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی و الگوریتم ترکیبی ژنتیک و ازدحام ذرات با منطق فازی | ۵-۲۰۰ کانتینر و ۳-۲۴ عدد AGV  با ۴ عدد QC و ۴ عدد YC[[117]](#footnote-117) | کارایی الگوریتم نسبت به الگوریتم های ژنتیک هم در ابعاد پایین و هم بالا بسیار بهتر بود. |
| (Wang & Zeng, 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 عددAGV 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 | ۱-۱۴ AGV، ۵ TQC، ۰-۱۳ حافظه موقت در محوطه | ۳۰ درصد افزایش در کارایی عملیاتی |

**جدول 1 - پژوهش های اصلی انجام شده در ارتباط با استفاده از AGVها در پایانه های**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **مرجع** | **مدل (الگوریتم/روش/برنامه)** | **ابعاد مساله (تعداد)** | **نتایج تجربی** |
| (Corréa, 2007) | مسئله ی برنامه ریزی با محدودیت هایی جهت هرس نمودن زیر مسئله ها: مسیر یابی بدون تداخل (روش برش های منطقی) | ۶ AGV | تخصیص همزمان با مسیریابی بدون تداخل |
| (Barberá, 2010) | استفاده از روش های هوش مصنوعی جهت موقعیت یابی و محلی سازی | ۵ AGV 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, 2010) | جریان عناصر و مواد اولیه بین اعضای مختلف یک FMS (طراحی و کنترل استراتژی | یک AGV | یک چارچوب یکپارچه جهت پیاده سازی AGV ساخته شد |
| (Nageswararao, 2014) | 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, 2018) | صنعت ۴.۰ 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, 2018) | برنامه ریزی AGV ها با حرکت های غیر متمرکز | ۲۵ عامل AGV | به جواب رسیدن روش پیشنهادی بدون برخورد AGVها |
| (Rahimikelarijani, 2019) | برنامه ریزی یک AGV با گروهی از ماشنی ها (برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح) | پیکره بندی برای سیستم AGV ها در چینش قطاری[[118]](#footnote-118) | هزینه ی جریمه شده تا ۴۰ درصد کم شد |
| (Maoudj, 2019) | 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, 2022) | برنامه ریزی AGVهای 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 AGVها |
| (Lin et al., 2023) | 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 MMPSO 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 ۵-۸، عملیات ۲۱-۳۶ | در تمامی آزمایشات، روش پیشنهادی از مدل MILP مرسوم بهتر عمل نمود ولی از مدل ارضای محدودیت (CP) بهتر عمل ننمود. |

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

مسئله­ی مسیریابی متناوبی، مسئله مسیریابی حاوی ظرفیت و نظایر آن می­باشند.

* **مشاهده-۱۵:** محیط­های پویا جهت زمان­بندی و مسیریابی AGVها به ندرت هم در اتوماسیون بنادر و هم سیستم­های تولیدی دیده شده است.
* **مشاهده-۱۶:** روش­های پیشنهادی در سیستم های AGV در آزمایشگاه مطالعه گردیدند و کاربردشان در محیط های صنعتی کم می باشد.

**۴. چالش­های استفاده از AGVها**

در این بخش به چالش­های استفاده­ی بیش از حد AGVها در سیستم­های گوناگون پرداخته می­شود. یکی از چالش­ها، اجرای محیط­های شبیه­سازی که بتوانند چندین چینش را هم در پایانه­ی کانتینری و هم در سیستم­های تولیدی داشته باشند، است.(مشاهدات ۱ الی ۸) در این سیستم­های، میتوان تعداد AGV متغیر و تعداد زیادی خطوط عبوری به همراه عابرین در حرکت کنار خطوط عبوری داشت.

دومین چالش، کار با تکنولوژی­های جدید در AGV است که شامل صنعت نسل ۴ می­باشند. این چالش که توسط تکنولوژی­های بر پایه اینترنت شکل گرفته است، پدید آمده است. این تکنولوژی­ها می­توانند از برچسب گذاری بر پایه شناسایی با امواج رادیویی، جهت تشخیص و کنترل حرکات، استفاده نمایند. همچنین از دستگاه­های IoT[[119]](#footnote-119) نیز در صنعت نسل ۴ استفاده می­شود.

همچنین سومین چالش، کار بر روی رویکردهایی جهت زمان­بندی پویا و مسیریابی بر پایه­ی شبیه سازی دو لایه ای است. (مشاهده-۱۵) این رویکردها در دو مرحله انجام می­پذیرد. در قدم اول در شبیه سازی در زمان حل هر مساله­ی مسیریابی، زیر شبیه سازی­ها برای هر مسیر جایگزین تولید می گردند. سپس در مرحله دوم، عملکردهای تجربی توسط این زیر شبیه سازی­ها جهت ساخت حل مسیری در شبیه­سازی­های بعدی مورد استفاده قرار می­گیرند.

چهارمین چالش، توسعه­ی الگوریتم­های بهینه برای مسائل عملی گوناگون مسیر یابی AGVها می­باشد. (مشاهده-ی ۱۶) یکی از گستره­های خاص، خودروهای ظرفیت­دار می باشند. 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 خودرو های 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, 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 تاٍثیر سه عامل می باشند: کیفیت خدمت­رسانی، سرعت خدمت­رسانی و مجموع کل هزینه­ها. این عوامل نقش مهمی در رقابت کسب­و کارهای امروز، ایفا می کنند.

# **مراجع**

1. Akturk, M. S. (1996). scheduling of automated guided vehicles in a decision making hierarchy. *International Journal of Production Research, Vol. 34*, 577–591.
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, 221–237.
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 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,*, 129– 134.
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*, 261–69.
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,*, 479–485.
13. Böse, J. R. (2000). “Vehicle Dispatching at Seaport Container Terminals Using Evolutionary Algorithms”. *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE, Piscataway, NJ,*, 1–10.
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., Tsang E.P.K., . (2005). “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.
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. . (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. Corréa, 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.
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. Medikondu, 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. Mehami, 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.
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. (2022, 2023/08/16/06:22:08). Heterogeneous Multitype Fleet Green Vehicle Path Planning of Automated Guided Vehicle with Time Windows in Flexible Manufacturing System. *Machines, 10*(3), 197. بازیابی از 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, 166*, 107968. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835222000389
52. Zhong, M., Yang, Y., Dessouky, Y., & Postolache, O. (2020). Multi-AGV scheduling for conflict-free path planning in automated container terminals. *Computers \& Industrial Engineering, 142*, 106371. 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, 03). Real-time scheduling simulation optimisation of job shop in a production-logistics collaborative environment. *International Journal of Production Research, 61*(5), 1373--1393. بازیابی از https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2023777
55. Hu, H., Yang, X., Xiao, S., & Wang, F. (2023, 01). Anti-conflict AGV path planning in automated container terminals based on multi-agent reinforcement learning. *International Journal of Production Research, 61*(1), 65--80. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1998
56. Ahmadi-Javid, A., Haghi, M., & Hooshangi-Tabrizi, P. (2024). Integrated job-shop scheduling 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
57. Kong, L., Ji, M., Yu, A., & Gao, Z. (2024). Scheduling 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

1. layout [↑](#footnote-ref-1)
2. Automated guided Vehicles [↑](#footnote-ref-2)
3. Modular growth [↑](#footnote-ref-3)
4. Warehouse [↑](#footnote-ref-4)
5. <https://www.who.int/europe/emergencies/situations/covid-19> [↑](#footnote-ref-5)
6. Scheduling [↑](#footnote-ref-6)
7. Timetable [↑](#footnote-ref-7)
8. Routing [↑](#footnote-ref-8)
9. Vehicle Routing Problem [↑](#footnote-ref-9)
10. Two-Dimensional-Mesh [↑](#footnote-ref-10)
11. wirings [↑](#footnote-ref-11)
12. Dedicated-dispatching (DD) [↑](#footnote-ref-12)
13. Quay Crane [↑](#footnote-ref-13)
14. Objective function [↑](#footnote-ref-14)
15. Integer programming [↑](#footnote-ref-15)
16. Quay-side [↑](#footnote-ref-16)
17. Yard-side [↑](#footnote-ref-17)
18. Stacking Cranes [↑](#footnote-ref-18)
19. SC-pooling [↑](#footnote-ref-19)
20. Double Cycle [↑](#footnote-ref-20)
21. Semi-dynamic assignment [↑](#footnote-ref-21)
22. Fully dynamic assignment [↑](#footnote-ref-22)
23. Vessel [↑](#footnote-ref-23)
24. Evolutionary algorithm [↑](#footnote-ref-24)
25. simulation [↑](#footnote-ref-25)
26. Rubber tyred Gantry Cranes [↑](#footnote-ref-26)
27. Branch and bound algorithm [↑](#footnote-ref-27)
28. Beam search heuristic [↑](#footnote-ref-28)
29. Conflict-free-routing [↑](#footnote-ref-29)
30. Concurrency [↑](#footnote-ref-30)
31. Proficient dynamic arrangement algorithm [↑](#footnote-ref-31)
32. Suspend-and-resume [↑](#footnote-ref-32)
33. interrelated [↑](#footnote-ref-33)
34. Shortest path problems [↑](#footnote-ref-34)
35. Hard constraints [↑](#footnote-ref-35)
36. The Lagrangian relaxation dual [↑](#footnote-ref-36)
37. berth [↑](#footnote-ref-37)
38. Mixed-integer programming [↑](#footnote-ref-38)
39. Priority rules [↑](#footnote-ref-39)
40. Decision Support System [↑](#footnote-ref-40)
41. Minimum Cost Flow [↑](#footnote-ref-41)
42. Network Simplex [↑](#footnote-ref-42)
43. Greedy Vehicle Search [↑](#footnote-ref-43)
44. Automated Lifting Vehicles [↑](#footnote-ref-44)
45. Buffer space [↑](#footnote-ref-45)
46. Mixed-integer programming model [↑](#footnote-ref-46)
47. Time window restrictions [↑](#footnote-ref-47)
48. Single-load [↑](#footnote-ref-48)
49. Multi-load [↑](#footnote-ref-49)
50. Constraint satisfaction and optimization problem [↑](#footnote-ref-50)
51. Feasible solution [↑](#footnote-ref-51)
52. Simulated annealing Method [↑](#footnote-ref-52)
53. customized [↑](#footnote-ref-53)
54. Heterogeneous [↑](#footnote-ref-54)
55. Controlling factors [↑](#footnote-ref-55)
56. Cooling procedures [↑](#footnote-ref-56)
57. Automated Container Terminals [↑](#footnote-ref-57)
58. Time-windows problem with pick-up and drops-off in the arrangement of binary integer programming [↑](#footnote-ref-58)
59. Column-generation methods [↑](#footnote-ref-59)
60. Internal Trucks [↑](#footnote-ref-60)
61. Adapted Hungarian Algorithm [↑](#footnote-ref-61)
62. Breaking point [↑](#footnote-ref-62)
63. transit [↑](#footnote-ref-63)
64. Makespan [↑](#footnote-ref-64)
65. Two-staged Greedy Heuristic [↑](#footnote-ref-65)
66. First Come Frist service [↑](#footnote-ref-66)
67. Shortest empty travel time first [↑](#footnote-ref-67)
68. Optimality Gap [↑](#footnote-ref-68)
69. Reinforcement Learning [↑](#footnote-ref-69)
70. Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient [↑](#footnote-ref-70)
71. Time windows based Dijkstra algorithm [↑](#footnote-ref-71)
72. Tandem Quay Cranes [↑](#footnote-ref-72)
73. ‌Buffer [↑](#footnote-ref-73)
74. Multi Local Search Algorithm [↑](#footnote-ref-74)
75. Variable Neighborhood Descent [↑](#footnote-ref-75)
76. hybrid [↑](#footnote-ref-76)
77. Pruning [↑](#footnote-ref-77)
78. Flexible material handling system [↑](#footnote-ref-78)
79. localization [↑](#footnote-ref-79)
80. Robustness [↑](#footnote-ref-80)
81. Numerically controlled machines [↑](#footnote-ref-81)
82. Spreadsheet [↑](#footnote-ref-82)
83. Spreadsheet-based genetic algorithm [↑](#footnote-ref-83)
84. Tandem automated guided vehicle [↑](#footnote-ref-84)
85. Automated flexible manufacturing system [↑](#footnote-ref-85)
86. Paradigms [↑](#footnote-ref-86)
87. Binary particle swarm vehicle heuristic algorithm [↑](#footnote-ref-87)
88. Robust factor function [↑](#footnote-ref-88)
89. Meta-heuristic gravitational search [↑](#footnote-ref-89)
90. Particle Swarm Optimization [↑](#footnote-ref-90)
91. Memetic algorithm [↑](#footnote-ref-91)
92. Modified Memetic Particle Swarm Optimization Algorithm [↑](#footnote-ref-92)
93. Poly-Load [↑](#footnote-ref-93)
94. Global search [↑](#footnote-ref-94)
95. Local search [↑](#footnote-ref-95)
96. Radio frequency Identification [↑](#footnote-ref-96)
97. Customizability [↑](#footnote-ref-97)
98. Motion Planner [↑](#footnote-ref-98)
99. Tandem layout [↑](#footnote-ref-99)
100. Balanced0rings strategy [↑](#footnote-ref-100)
101. Agents [↑](#footnote-ref-101)
102. Bio-inspired optimization approach [↑](#footnote-ref-102)
103. Real-time [↑](#footnote-ref-103)
104. Genetic Algorithm- Large-scale Neighborhood Search [↑](#footnote-ref-104)
105. Automatic Storage and Retrieval System [↑](#footnote-ref-105)
106. Multi-Load AGVs Task Scheduling Optimization [↑](#footnote-ref-106)
107. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm [↑](#footnote-ref-107)
108. Modified Memetic Particle Swarm Optimization [↑](#footnote-ref-108)
109. Job Shop [↑](#footnote-ref-109)
110. Processing Unit [↑](#footnote-ref-110)
111. Queue [↑](#footnote-ref-111)
112. Transporter [↑](#footnote-ref-112)
113. Heterogeneous [↑](#footnote-ref-113)
114. Homogenous [↑](#footnote-ref-114)
115. Localization [↑](#footnote-ref-115)
116. Lagrangian relaxation [↑](#footnote-ref-116)
117. Yard Crane [↑](#footnote-ref-117)
118. Tandem Layout [↑](#footnote-ref-118)
119. Internet of Things [↑](#footnote-ref-119)