دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کامپیوتر (نرم افزار)

ارائه الگوریتم ترکیبی جهت حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به همراه تخلیه و بارگیری اجناس در پنجره زمانی مشخص

به کوشش

کاوه اشراقیان

استاد راهنما

دکتر کورش زیارتی

دی ماه ۱۳۹۲

چکیده

ارائه الگوریتم تکاملی جهت حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به همراه تخلیه و بارگیری اجناس در پنجره زمانی مشخص

به کوشش
کاوه اشراقیان

امروزه شرکت های پخش و بسیاری از شرکت های خدماتی کوچک، با بکار گرفتن ناوگانی از خودرو ها، اقدام به سرویس دهی به مشتریان خود می نمایند. این شرکت ها جهت کاهش هزینه ها و استفاده بهینه از ناوگان خود، اقدام به استفاده از الگوریتم هایی جهت کاهش طول مسیر طی شده خودرو ها و تعداد خودرو های مورد استفاده در ناوگان خود می کنند. استفاده از الگوریتم های دقیق جهت حل این مسئله به علت وجود تعداد زیادی مشتری و زمان بر بودن این الگوریتم ها، در زمانی قابل قبول امکان پذیر نمی باشد. لذا برای حل اینگونه مسائل از الگوریتم های فرا ابتکاری استفاده می نمایند. این الگوریتم ها جواب هایی نزدیک به جواب بهینه را ارائه می نمایند. در این پژوهش اقدام به معرفی دو الگوریتم فرا ابتکاری به نام های الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کولونی زنبور عسل شده است. در ابتدا یکی از پژوهش های انجام شده در سال ۲۰۱۲ که با کمک الگوریتم ژنتیک این مسئله را حل نموده، مرور شده است و در ادامه الگوریتم کولونی زنبور عسل را که برای اولین بار در سال ۲۰۰۵ ارائه شده، جهت پیاده سازی بر روی این مسئله مورد بررسی قرار داده است. پس از آن یک الگوریتم تکاملی ترکیبی جدید بر پایه الگوریتم کولونی زنبور عسل و الگوریتم ژنتیک ارائه و پیاده سازی شده. نتایج پیاده سازی الگوریتم تکاملی جدید را با نتایج ارائه شده بر اساس الگوریتم ژنتیک مقایسه کرده و نشان داده شده که الگوریتم تکاملی طراحی شده در مسئله تخلیه و بارگیری همزمان با پنجره زمانی مشخص از الگوریتم ژنتیک ذکر شده بروی اکثر داده هایی که آزمایش شده اند بهتر عمل کرده و می تواند جایگزین خوبی برای این الگوریتم باشد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه..... ۲

۱-۱- معرفی مسئله مسیر یابی ۲

۱-۲- نمایش مسئله مسیر یابی بصورت یک گراف ۳

۱-۳- کاربرد های مسئله مسیر یابی ۴

۱-۴- طبقه بندی مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه ۵

۱-۵- مروری بر تاریخچه مسئله مسیریابی ۹

۱-۶- سرفصل مطالب ۱۱

فصل دوم: توصیف مسئله تخلیه و بارگیری همزمان با پنجره زمانی ۱۳

۲-۱- مقدمه ۱۴

۲-۲- شرح مسئله ۱۴

۲-۳- مدل ریاضی مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه همراه با تخلیه و بارگیری همزمان و پنجره زمانی ۱۵

۲-۳-۱- نشانه ها ۱۵

۲-۳-۲- مدل مسئله تخلیه و بارگیری همزمان با پنجره زمانی ۱۸

فصل سوم: الگوریتم ژنتیک جهت حل مسئله تخلیه و بارگیری همزمان با پنجره زمانی ۲۲

۳-۱- مقدمه ۲۳

۳-۲- تاریخچه ۲۴

۳-۳- الگوریتم ژنتیک جهت حل مسئله تخلیه و بارگیری با پنجره زمانی ۲۴

۳-۳-۱- الگوریتم تکاملی ژنتیک ۲۶

۳-۳-۲- جمعیت اولیه ۲۸

۳-۳-۲-۱- الگوریتم درج بهینه ۲۸

۳-۳-۲-۲- الگوریتم روش درج بهینه چند پارامتری ۳۰

۳-۳-۲-۳- الگوریتم روش درج بهینه با خودرو های تصادفی ۳۱

۳-۳-۲-۴- ترکیب ۳۱
۳-۳-۲-۵- ایجاد جمعیت اولیه ۳۲
۳-۳-۳- تحلیل الگوریتم تکاملی ژنتیک ۳۳
۳-۳-۳-۱- انتقال ۳۴
۳-۳-۳-۲- بازسازی ۳۵
۳-۳-۳-۳- بهبود محلی ۳۶
۳-۳-۳-۴- ترکیب ۳۷
۳-۳-۳-۵- جهش ۳۷
۳-۳-۳-۶- انتخاب ۴۳
۳-۳-۴- شرط خروج ۴۴
۳-۴- جمع بندی ۴۴
فصل چهارم: معرفی الگوریتم کولونی زنبور عسل و الگوریتم تکاملی این پژوهش ۴۵
۴-۱- مقدمه ۴۶
۴-۲- الگوریتم کولونی زنبور عسل ۴۸
۴-۲-۱- شرح مسئله ۴۸
۴-۳- پیاده سازی الگوریتم کولونی زنبور عسل بر مسئله VRPSDPTW ۵۰
۴-۳-۱- نمایش راه حل ۵۰
۴-۳-۲- فضای جست و جو مسئله ۵۱
۴-۳-۳- جواب های اولیه ۵۲
۴-۳-۳-۱- الگوریتم روش درج بهینه ۵۳
۴-۳-۳-۲- الگوریتم روش مینیمم خودرو ۵۴
۴-۳-۳-۳- الگوریتم روش خودرو تصادفی ۵۷
۴-۳-۴- اپراتور های همسایگی ۵۹
۴-۳-۴-۱- مبادله محلی ۵۹
۴-۳-۴-۲- درج دوباره محلی ۶۰
۴-۳-۴-۳- جهش مبادله ای ۶۱
۴-۳-۴-۴- جهش درج دوباره بین خودرویی ۶۲
۴-۳-۴-۵- جهش درج دوباره ۶۳
۴-۳-۴-۶- جهش فراخوان مشتری ۶۴
۴-۳-۴-۷- جهش تفکیک مسیر ۶۶
۴-۳-۴-۸- جهش کاهش مسیر ۶۷
۴-۳-۵- انتخاب منبع غذایی ۶۸
۴-۳-۶- جمعیت های تکاملی ۶۸

۴-۳-۶-۱- جمعیت ناظر ۶۹
۴-۳-۶-۲- جمعیت ترکیبی ۷۰
۴-۳-۶-۲-۱- اپراتور ترکیب ۷۱
۴-۳-۶-۲-۲- اپراتور بازسازی ۷۳
۴-۳-۷- انتخاب نسل بعد ۷۴
۴-۴- الگوریتم تکاملی ارائه شده در این پژوهش ۷۵
۴-۵- جمع بندی ۷۷
فصل پنجم: نتایج عددی پیاده سازی الگوریتم ها ۸۰
۵-۱- مقدمه ۸۰
۵-۲- نتایج الگوریتم ساده ژنتیک ۸۱
۵-۲-۱- پارامتر دهی به الگوریتم ۸۲
۵-۲-۲- نتایج محاسبات بر مسائل کوچک SDPPTW ۸۳
۵-۲-۳- نتایج محاسبات بر مسائل SDPPTW ۸۴
۵-۳- نتایج پیاده سازی الگوریتم کولونی زنبور عسل بر مسئله SDPPTW ۸۵
۵-۳-۱- پارامتر های پیاده سازی الگوریتم تکاملی ارائه شده ۸۵
۵-۳-۱-۱- تعداد زنبور ها ۸۶
۵-۳-۱-۲- پارامتر کران ۸۹
۵-۳-۲- نتایج پیاده سازی الگوریتم پایه کولونی زنبور عسل ۹۷
۵-۳-۳- نتایج پیاده سازی الگوریتم تکاملی کولونی زنبور عسل ۱۱۱
۵-۴- مقایسه نموداری نتایج الگوریتم کولونی زنبور عسل و الگوریتم تکاملی ژنتیک ۱۰۳
۵-۵- مقایسه جامع نتایج الگوریتم کولونی زنبور عسل و الگوریتم تکاملی ژنتیک ۱۰۸
۵-۶- جمع بندی ۱۱۰
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۱
۶-۱- جمع بندی ۱۱۲
۶-۲- پیشنهادات ۱۱۳
فهرست منابع و ماخذ ۱۱۴
خلاصه به زبان انگلیسی ۱۲۰

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمای کلی از مشتریان و یال های مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه ۴

شکل ۲-۱- طبقه طبقه بندی مسئله مسیر یابی ۶

شکل ۱-۳- چارچوب الگوریتم تکاملی ژنتیک ۲۷

شکل ۲-۳- مراحل انجام الگوریتم درج بهینه ۲۹

شکل ۳-۳- حالات مختلف درج مشتری ۳ در مسیر مشتریان ۱ و ۲ ..... ۳۰

شکل ۴-۳- شبه کد الگوریتم درج بهینه با خودرو های پیش فرض ۳۲

شکل ۵-۳- ساختار الگوریتم تکاملی ژنتیک ۳۳

شکل ۶-۳- شبه کد اپراتور بازسازی ۳۵

شکل ۷-۳- جهش درج مشتری بصورت تصادفی در مسیر همان خودرو ۳۸

شکل ۸-۳- جهش درج مشتری بصورت تصادفی در مسیر خودرویی دیگر ۳۸

شکل ۹-۳ - جهش آوردن مشتری از خودرویی دیگر ۳۹

شکل ۱۰-۳ - جهش جابجایی چند مشتری ۳۹

شکل ۱۱-۳- جهش تقسیم مسیر ۴۰

شکل ۱۲-۳- جهش کاهش یک مسیر ۴۰

شکل ۱۳-۳- جهش درج مجدد مشتری بر اساس هزینه صرفه جویی ۴۱

شکل ۱۴-۳- جهش درج مجدد مشتری بر اساس هزینه صرفه جویی در خودرویی دیگر ۴۱

شکل ۱۵-۳- جهش آوردن بهترین مشتری بر اساس هزینه صرفه جویی ۴۲

شکل ۳-۱۶- جهش جابجایی چند مشتری بر اساس هزینه صرفه جویی ۴۲
شکل ۳-۱۷- جهش جابجایی مشتری بارگیری زودهنگام با تخلیه دیرهنگام ۴۳
شکل ۴-۱- شبه کد الگوریتم زنبور عسل ۴۹
شکل ۴-۲- نمونه ای از راه حل ۵۱
شکل ۴-۳- شبه کد الگوریتم روش مینیمم ۵۵
شکل ۴-۴- شبه کد الگوریتم *CalculateDynamicCap* ۵۶
شکل ۴-۵- شبه کد الگوریتم روش خودرو تصادفی ۵۸
شکل ۴-۶- شبه کد الگوریتم مبادله محلی ۶۰
شکل ۴-۷- شبه کد الگوریتم درج دوباره محلی ۶۱
شکل ۴-۸- شبه کد الگوریتم جهش مبادله ای ۶۲
شکل ۴-۹- شبه کد الگوریتم جهش درج دوباره بین خودرویی ۶۳
شکل ۴-۱۰- شبه کد الگوریتم جهش درج دوباره ۶۴
شکل ۴-۱۱- شبه کد الگوریتم جهش فراخوان مشتری ۶۵
شکل ۴-۱۲- شبه کد الگوریتم جهش تفکیک مسیر ۶۶
شکل ۴-۱۳- شبه کد الگوریتم جهش کاهش مسیر ۶۷
شکل ۴-۱۴- شبه کد اپراتور ترکیب ۷۲
شکل ۴-۱۵- شبه کد الگوریتم روش درج مینیمم با خودرو های پیش فرض ۷۳
شکل ۴-۱۶- شبه کد اپراتور بازسازی ۷۳
شکل ۴-۱۷- شمای کلی الگوریتم تکاملی ارائه شده توسط این پژوهش ۷۷
شکل ۵-۱- جدول پارامتر های استفاده شده در الگوریتم ژنتیک ۸۲
شکل ۵-۲- نتایج پیاده سازی الگوریتم تکاملی بر روی مسائل کوچک SDPPTW ۸۳
شکل ۵-۳- جدول نتایج پیاده سازی الگوریتم تکاملی بر روی مسائل کوچک SDPPTW ۸۴
شکل ۵-۴- نمودار تکامل الگوریتم کولونی زنبور عسل با استفاده از تابع Sphere ۸۷
شکل ۵-۵- نمودار تکامل الگوریتم کولونی زنبور عسل با استفاده از تابع Greiwank ۸۷
شکل ۵-۶- نمودار نسبت طول مسیر به مقدار پیش فرض کران در محک Rdp101 ..... ۹۱
شکل ۵-۷- نمودار نسبت طول مسیر به مقدار پیش فرض کران در محک Rdp102 ..... ۹۲

شکل ۸-۵- نمودار نسبت طول مسیر به مقدار پیش فرض کران بر محک Cdp101 ..... ۹۳
شکل ۹-۵- نمودار نسبت طول مسیر به مقدار پیش فرض کران بر محک Cdp201 ..... ۹۴
شکل ۱۰-۵- نمودار نسبت طول مسیر به مقدار پیش فرض کران بر محک Rcdp101 ..... ۹۴
شکل ۱۱-۵- نمودار نسبت طول مسیر به مقدار پیش فرض کران بر محک Rcdp201 ..... ۹۵
شکل ۱۳-۵- میانگین طول مسیر طی شده نسبت به کران های انتخاب شده ۹۶
شکل ۱۴-۵- نتایج عددی الگوریتم پایه کولونی زنبور عسل بر محک Rdp1 ..... ۹۸
شکل ۱۵-۵- نتایج عددی الگوریتم پایه کولونی زنبور عسل بر محک Rdp2 ..... ۹۸
شکل ۱۶-۵- نتایج عددی الگوریتم پایه کولونی زنبور عسل بر محک Cdp1 ..... ۹۹
شکل ۱۷-۵- نتایج عددی الگوریتم پایه کولونی زنبور عسل بر محک Cdp2 ..... ۹۹
شکل ۱۸-۵- نتایج عددی الگوریتم پایه کولونی زنبور عسل بر محک Rcdp1 ..... ۱۰۰
شکل ۱۹-۵- نتایج عددی الگوریتم پایه کولونی زنبور عسل بر محک Rcdp1 ..... ۱۰۰
شکل ۲۰-۵- نتایج عددی الگوریتم تکاملی کولونی زنبور عسل بر محک های گروه Rdp1 ..... ۱۰۲
شکل ۲۱-۵- نتایج عددی الگوریتم تکاملی کولونی زنبور عسل بر محک های گروه Rdp2 ..... ۱۰۳
شکل ۲۲-۵- نتایج عددی الگوریتم تکاملی کولونی زنبور عسل بر محک های گروه Cdp1 ..... ۱۰۴
شکل ۲۳-۵- نتایج عددی الگوریتم تکاملی کولونی زنبور عسل بر محک های گروه Cdp2 ..... ۱۰۵
شکل ۲۴-۵- نتایج عددی الگوریتم تکاملی کولونی زنبور عسل بر محک های گروه Rcdp1 ..... ۱۰۵
شکل ۲۵-۵- نتایج عددی الگوریتم تکاملی کولونی زنبور عسل بر محک های گروه Rcdp2 ..... ۱۰۶
شکل ۲۶-۵- مقایسه نتایج الگوریتم های تکاملی کولونی زنبور عسل و ژنتیک بر محک Rdp1 .... ۱۰۸
شکل ۲۷-۵- مقایسه نتایج الگوریتم های تکاملی کولونی زنبور عسل و ژنتیک بر محک Rdp2 .... ۱۰۹
شکل ۲۸-۵- مقایسه نتایج الگوریتم های تکاملی کولونی زنبور عسل و ژنتیک بر محک Cdp1 .... ۱۰۹
شکل ۲۹-۵- مقایسه نتایج الگوریتم های تکاملی کولونی زنبور عسل و ژنتیک بر محک Cdp2 .... ۱۱۰
شکل ۳۰-۵- مقایسه نتایج الگوریتم های تکاملی کولونی زنبور عسل و ژنتیک بر محک Rcdp1 . ۱۱۱
شکل ۳۱-۵- مقایسه نتایج الگوریتم های تکاملی کولونی زنبور عسل و ژنتیک بر محک Rcdp2 . ۱۱۲
شکل ۳۲-۵- مقایسه نتایج بدست آمده در الگوریتم های تکاملی و ژنتیک در کنار یکدیگر ۱۱۴

فهرست فرمول ها

عنوان **صفحه**

فرمول ۱-۲- هدف مسئله تخلیه و بارگیری با پنجره زمانی ۱۸
فرمول ۲-۲- هر مشتری یکبار سرویس دهی شود ۱۸
فرمول ۳-۲- مراجعه به مشتری و ترک آن توسط یک خودرو انجام پذیرد ۱۸
فرمول ۴-۲- خودرو هایی در پایان باید به مرکز تخلیه بازگردند ۱۸
فرمول ۵-۲- خودرو ها در شروع حرکت مقدار دهی اولیه شوند ۱۸
فرمول ۶-۲- حجم خودرو پس از سرویس دهی به مشتری اول ۱۹
فرمول ۷-۲- حجم خودرو در طول مسیر ۱۹
فرمول ۸-۲- محدودیت حجم خودرو ۱۹
فرمول ۹-۲- محدودیت حجم خودرو ۱۹
فرمول ۱۰-۲- محدودیت پنجره زمانی ۱۹
فرمول ۱۱-۲- محدودیت پنجره زمانی ۱۹
فرمول ۱۲-۲- محدودیت پنجره زمانی ۲۰
فرمول ۱۳-۲- محدودیت پنجره زمانی ۲۰
فرمول ۱۴-۲- محدودیت پنجره زمانی ۲۱
فرمول ۱۵-۲- محدودیت پنجره زمانی ۲۱
فرمول ۱-۳- هزینه صرفه جویی الکوریتم درج بهینه ۲۸
فرمول ۲-۳- میزان صرفه جویی الگوریتم روش درج بهینه چند پارامتری ۳۰
فرمول ۳-۳- مقدار صرفه جویی در اپراتور درج دوباره ۳۶

فرمول ۴-۳- مقدار صرفه جویی در اپراتور جابجایی ۳۷
فرمول ۵-۳- محاسبه برازندگی هر فرزند ۴۴
فرمول ۶-۳- محاسبه احتمال انتخاب مشتری در چرخ رولت ۴۴
فرمول ۱-۴- مقدار صرفه جویی ۵۳

فصل اول

مقدمه

امروزه شرکت های پخش دارای ناوگان عظیمی از خودرو ها و مشتریان می باشند که سرویس دهی به این مشتریان و مدیریت خودرو ها برنامه ریزی و دقت بسیار بالایی را طلب می کند. علاوه بر آن، این شرکت ها در کنار سرویس دهی به مشتریان با کیفیت بالا، بدنبال راه حل هایی جهت کاهش هزینه های خود نیز می باشند. این کاهش هزینه ها عبارتند از استفاده از تعداد خودرو های کمتر و طول مسیر طی شده کمینه توسط این خودرو ها. برای این منظور مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه یکی از مسائل پر کاربرد در صنعت پخش می باشد و به این شرکت ها کمک می کند تا هزینه های خود را در کنار ارائه سرویس مطلوب کاهش دهند. در این فصل ابتدا به بیان تعریف کلی مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه می پردازیم. پس از آن نمایش گراف این مسئله را ارائه می دهیم در ادامه به بیان کاربردهای این مسئله پرداخته و پس از آن به بیان طبقه بندی مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه و زیر مجموعه های آن می پردازیم. پس از این طبقه بندی به بیان تاریخچه ای از مسائل مسیر یابی می پردازیم. در پایان، سرفصل های فصول آینده را بطور خلاصه مطرح می کنیم.

۱.۱. معرفی مسئله مسیر یابی:

مساله تعیین مسیر وسایل نقلیه[1] که آن را به اختصار VRP مینامیم، قلب سازماندهی توزیع است. هزاران کمپانی که در امور تحویل، جمع آوری و حمل و نقل اشیاء و انسانها فعالیت دارند، هر روزه با این مساله روبرو میشوند. از آنجا که شرایط، از یک مجموعه به یک مجموعه دیگر متفاوت است، اهداف و قیود این مساله بسیار متنوع است. مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه ابتدا در پایان نامه ای که توسط Dantzig & Ramser [1] تهیه شده بود مطرح گردید و تاکنون به صورت وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است. این مساله، یک مساله بهینه سازی ترکیبی[2] است. محققین دیگر مساله را به این شکل بیان میکنند :استفاده

1. Vehicle Routing Problem
2. Combinatorial Optimization

موثر، از تعدادی از وسایل حمل و نقل که باید در ایستگاههایی که مشتری[1] نام دارند برای برداشتن محصول و یا تحویل آن، توقف کنند". منظور از مشتری ایستگاه های برداشت یا توزیع میباشد.
مسئله مسیر یابی در حالتی ساده تر میتواند به عنوان ترکیبی از دو مساله بهینه سازی کاملا شناخته شده معرفی شوند. مساله بهینه سازی بسته بندی[2] و مسئله فروشنده دوره گرد[3] دو نمونه از این مسائل شناخته شده می باشند. در ذیل به ارائه تعریف کوتاهی از این مسائله می پردازیم.

بهینه سازی بسته بندی:
مسئله بهینه سازی بسته بندی به صورت زیر بیان میشود: در صنعت بسته بندی، جهت بسته بندی اقلام در کارتن با تعداد مشخصی قطعه و جعبه هایی که حجم محدودی دارند، چگونه عمل بسته بندی انجام پذیرد که حداقل تعداد جعبه در بسته بندی اقلام مشخص شده مورد استفاده قرار گیرد.
مسئله فروشنده دوره گرد:
مسئله فروشنده دوره گرد مسئله ای است که در آن دوره گردی با پیمودن شهر های مختلف و سفر به هر کدام تنها یکبار اقدام به فروش اقلام خود در این شهر ها می نماید. هدف این مسئله کمینه کردن طول سفر این فروشنده می باشد.

ارتباط این مسائل با مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه بدین شکل است که رابطه مشتری ها با وسایل نقلیه با حل مسئله بهینه سازی بسته بندی و یافتن طول مسیر کمینه با حل مسئله فروشنده دوره گرد انجام می پذیرد. به عبارت دیگر مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه ترکیبی از دو مسئله ذکر شده در فوق می باشد و هدف مسئله مسیر یابی یافتن حالت بهینه در ترکیب دو مسئله بسته بندی و فروشنده دوره گرد است.

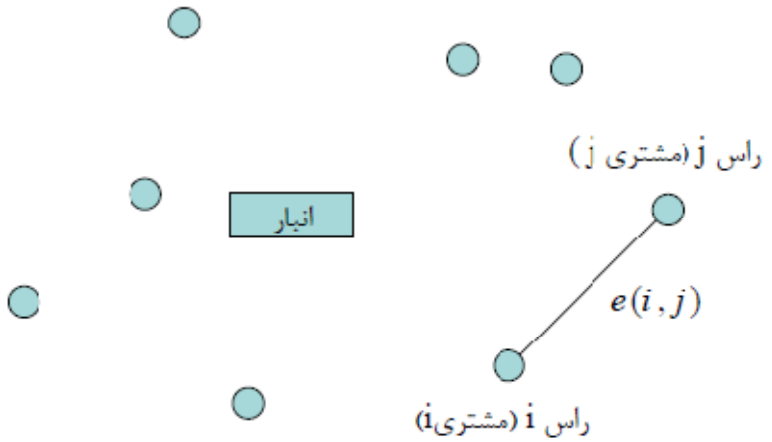
۱.۲. نمایش مسئله مسیر یابی به صورت یک گراف:

همانطور که اشاره شد مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه یکی از موضوعات مطرح در مباحث تحقیق در عملیات میباشد. شاخه ای که مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه به مسئله گراف ها مربوط می شود تئوری گراف به نوبه خود از گسترده ترین مباحث تحقیق در عملیت می باشد. معمولا در مباحث گراف، گره هایی وجود دارند که این گره ها بوسیله یال با یکدیگر در ارتباط هستند، گره ها و یال ها در مباحث گراف می توانند مشخص کننده واقعیت های متفاوتی باشند.

1. Customer
2. Bin Packing Problem
3. Travel Salesman Problem

گراف ها را با دو مشخصه گره ها و یال ها شناسایی می کنند یک گراف یک مجموعه راس و یک مجموعه یال دارد. گراف را معمولا با $G = (V, E)$ نمایش می دهند که در آن V مجموعه راس ها و E مجموعه یال ها می باشد. نکته دیگری که معمولا در گرافها وجود دارند اعداد و ارقامی است که بر روی گرهها و یالها نوشته میشوند. این اعداد معانی متفاوتی میتوانند داشته باشند. با این مقدمه کوتاه در مورد گرافها میتوان تعریفی از مسائل مسیر یابی وسیله نقلیه ارائه کرد.

مسئله مسیر یابی وسیله تقلیه می تواند با یک گرف کامل معرفی شود. مشتری ها به عنوان گره و راه های ارتباطی به عنوان یال های این گرف معرفی می شوند. در این مسئله مجموعه $N = \{0 \dots N\}$، مجموعه ای از راس ها است و هر راس بیانگر یک مشتری است که هر مشتری تقاضایی معادل q_i دارد. در این مسئله راس 0 به عنوان انبار معرفی می شود.



شکل شماره ۱-۱ – نمای کلی از مشتریان و یال های مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه

در شکل شماره ۱-۱ نمای کلی از مشتریان، انبار و یال های میان این مشتریان را مشاهده نمود. در این شکل خودرو ها از انبار شروع به حرکت کرده و به مشتریان که در شکل مشاهده می شوند سرویس دهی می کنند.

۱.۳. کاربرد های مسئله مسیر یابی:

مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه کاربردهای شناخته شده فراوانی در زندگی واقعی دارد. این مساله در گستره وسیعی از کارهای عملی مانند حمل و نقل مسافر و کالا، تحویل خدمات و تامین قطعات کاربرد دارد. برای

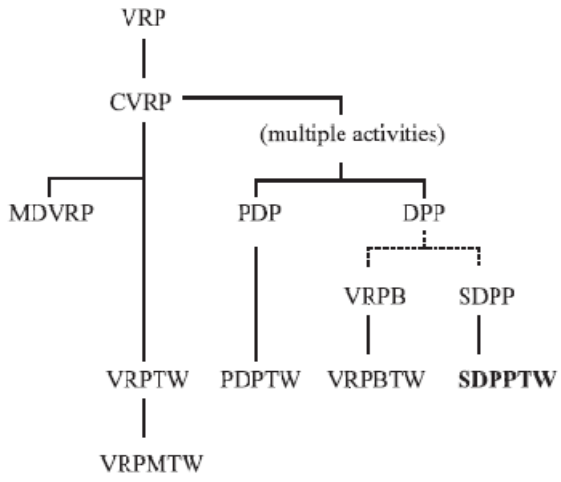
نمونه اینکه ما می توانیم شیر را از مغازه ها تهیه کنیم از حل دو مساله مسیریابی وسیله نقلیه ناشی می شود. اول اینکه شیر باید از گاوداری ها جمع آوری شده و به کارخانجات لبنیات حمل شود سپس وقتی که شیر بسته بندی شد و در کارتن ها قرار گرفت باید به مغازه ها ارسال شود. حمل و نقل صرفا با ماشین انجام نمی شود بلکه هواپیماها، قطارها و کشتی ها نیز کار حمل و نقل را انجام می دهند. لذا مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه در تمام مسائلی که جنبه حمل و نقل دارند استفاده می شود.

برای نمونه دو محقق با استفاده مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه مدلی جهت توزیع روزنامه های یک شرکت انتشاراتی بسط و توسعه میدهند .این دو نفر با توجه به این موضوع که روزنامه ها توسط یک موسسه در استرلیا چاپ میشوند و با توجه به اینکه روزنامه ها در سطح شهرهای استرالیا باید توزیع شوند، مسئله را در قالب یک مسئله مسیر یابی با یک مرکز سرویس مدل میکنند .از آنجایی که روزنامه ها توسط کامیون ها به شهرهای مختلف حمل می شوند محدودیت ظرفیت وسایل حمل و نقل نیز به محدودیت های مساله افزوده می شود .همچنین روزنامه ها تا جایی که ممکن است باید سریع به دست مشتری ها برسد لذا محدودیت زمان نیز بر مسئله اضافه می گردد بنابراین مسئله از نوع مسیر یابی وسیله نقلیه همراه با پنجره زمانی[1] می باشد.

۱.۴. طبقه بندی مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه:

همانطور که در قسمت های پیشین یه آن اشاره شد مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه دارای کاربرد های عملی بسیار زیادی در جامعه و سیستم حمل و نقل می باشد. وجود کاربرد های فراوان از این مسئله باعث شده است تا این مسئله به مرور زمان زیر شاخه هایی را تولید کند و هر زیرشاخه کاربرد های فراوانی را در شرکت های مختلف با خواص مختلف بوجود آورد. در این قسمت به بیان این زیر شاخه ها پرداخته و هر کدام را به شرح توصیح می دهیم.

1. Vehicle Routing Problem With Time Window



شکل شماره ۲-۱ – طبقه بندی مسئله مسیر یابی

همانطور که در شکل شماره ۲-۱ مشاهده می شود، در نخستین مرحله مسئله مسیر یابی[1] به مسئله مسیر یابی همراه با محدودیت فضای بار[2] تبدیل شده است. در مسئله مسئله مسیر یابی همراه با محدودیت فضای بار، وسیله نقلیه مورد نظر ما که وظیفه سرویس دهی به مشتریان را بعهده دارد، دارای حداکثر ظرفیت بوده[3] و نمی تواند بیش از ظرفیت تعیین شده، اقلام بیشتری را حمل و نقل نماید.

در ادامه و همانگونه که در شکل شماره ۲-۱ نیز مشاهده می شود، مسئله مسیر یابی همراه با محدودیت فضای بار را می توان بطور کلی به دو شاخه یا گروه اصلی تقسیم نمود. گروه اول شامل مسائلی است که در آنها تنها یک عمل در طول مسیر انجام می گیرد. مثلا تنها عمل بارگیری اجناس در مسیر انجام می شود. گروه دوم شامل مسائلی هستند که در آنها عمل بارگیری و تخلیه در طول مسیر بصورت موازی انجام می شود.

اکنون به توضیح در خصوص شاخه مطرح شده یا گروه اول مسائل مسیر یابی همراه با محدودیت فضای بار پرداخته می شود. همانگونه که در فوق اشاره گردید، گروه اول از مسائل مسیر یابی وسائل نقلیه با ظرفیت مشخص، گروهی هستند که در آنها مسئله شامل تنها یک فعالیت می باشد. بعنوان مثال یک شرکت پخش روزنامه در هر روز را در نظر بگیرید که تنها وظیفه پخش روزنامه ها را بعهده دارد و وظیفه ای در قبال جمع آوری اقلام دیگر و یا روزنامه های باقیمانده روز قبل را ندارد. بنابراین مسئله مسیر یابی وسائل نقلیه (با ظرفیت مشخص) مربوط به این شرکت، در گروه "با تنها یک فعالیت" قرار می گیرد. در زیر مجموعه

1. Vehicle Routing Problem
2. Capacitive Vehicle Routing Problem
3. Maximum Capacity

گروه مسئله مسیر یابی همراه با محدودیت فضای بار با تنها یک فعالیت نیز می توان دو زیرمسئله را مشاهده نمود. این دو زیرمسئله عبارتند از:

۱. مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه با شروع از چند نقطه[1]: این گروه از مسائل شامل مسائلی می باشند که در آنها چند نقطه شروع برای وسایل نقلیه ما موجود می باشد و ما می توانیم، بنا به فرض مسئله یا به دلخواه، از هرکدام از آنها شروع به حرکت نمائیم. بعنوان مثال در مورد مثال شرکت پخش روزنامه، می توانیم مسئله را اینطور بسط دهیم که این شرکت از چند چاپخانه مجزا که وظیفه چاپ روزنامه ها را بر عهده دارد بصورت مجزا وسایل نقلیه خود را حرکت دهد تا نیاز های مشترین خود را برآورده سازد.

۲. مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه همراه با پنجره زمانی[2]: این گروه از مسائل شامل مسائلی هستند که در آنها سرویس گیرنده ها تنها در یک بازه زمانی[3] خاص قادر به دریافت سرویس می باشند و در زمان خارج از این بازه نمی توان به آنها سرویس ارائه نمود. این نوع مسئله در ادامه می تواند به مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه همراه با چند بازه زمانی[4] تبدیل شود که شامل مسائلی با چندین بازه زمانی هستند. در مورد مثال اشاره شده، می توان این حالت را اینطور مطرح نمود که شرکت پخش روزنامه تنها در بازه زمانی ۹ صبح الی ۴ بعدازظهر باید تمامی روزنامه ها را به گیشه های روزنامه فروشی تحویل دهد و در خارج از این ساعات گیشه داران از قبول روزنامه ها خودداری می کنند. در مثال اخیر تنها یک بازه زمانی وجود دارد. ولی می تواند یک بازه زمانی پخش نیز برای روزنامه هایی که نوبت چاپ آنها بعدازظهر است نیز وجود داشته باشد. مثلا گیشه های روزنامه فروشی بتوانند در بازه زمانی ساعت ۱۴-۱۷ بعدازظهر نیز روزنامه ها را تحویل بگیرند. توجه شود در این حالت دو پنجره زمانی برای هر گیشه دریافت کننده روزنامه وجود دارد. بنابراین مسئله مذکور از نوع مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه همراه با چند بازه زمانی می باشد.

در ادامه به بحث در مورد گروه دوم مسائل مسیر یابی همراه با محدودیت فضای بار می پردازیم. این گروه همانند گروه اول بدنبال مسیر یابی وسایل نقلیه خود می باشند تنها با این تفاوت که در این گروه، دو یا چند فعالیت بطور همزمان انجام می پذیرد. به همین دلیل به اینگونه از مسائل حمل و نقل، مسئله مسیر

1. Multi Depot Vehicle Routing Problem
2. Vehicle Routing Problem with Time Window
3. Time Window
4. Vehicle Routing Problem with Multiple Time Window

یابی همراه با محدودیت فضای بار بصورت چند فعالیتی[1] می گویند. مسائلی از این قبیل، خود به دو گروه عمده تقسیم می شود که در ذیل به معرفی آنها پرداخته شده و برای هر یک مثالی آورده می شود.

۱. مسئله بارگیری و تخلیه[2]: در اینگونه از مسائل مسیر یابی چند فعالیتی، عمل بارگیری کالا های مشتریان در یک سری نقاط انجام و در نقاط دیگر برای سایر مشتریان تخلیه می گردد.

۲. مسئله تخلیه و بارگیری[3]: در اینگونه از مسائل مسیر یابی چند فعالیتی، عمل تخلیه و بارگیری کالا های مشتریان در یک سری نقاط انجام می گردد ولی کالا های بارگیری شده تنها در یک مقصد نهایی (و نه برای مشتریان) تخلیه می شوند.

در این قسمت به تشریح هر یک از مسائل بارگیری و تخلیه، و تخلیه و بارگیری بصورت مجزا پرداخته و مثالی برای هر یک ارائه می نمائیم. در گروه اول مورد بحث یا همان مسئله بارگیری و تخلیه، مسئله شامل بارگیری اجناس و تحویل آن به سرویس گیرنده دیگر در نقطه ای دیگر از فضا می باشد. در اغلب موارد به این مسئله، مسئله پست اکسپرس[4] نیز گفته می شود. در این مسئله بسته های پستی از شخصی از یک نقطه فضا تحویل گرفته شده و در نقطه ای دیگر به سرویس گیرنده ای دیگر تحویل داده می شود. گروه دوم مورد بحث یا همان مسئله تخلیه و بارگیری، شامل بارگیری و تخلیه بصورت مجزا می باشد. در این نوع از مسئله مسیر یابی چند فعالیتی، گروهی را مشتریان حمل و نقل ثانویه[5] تشکیل می دهند که شامل مشتریانی هستند که درخواست جمع آوری اقلام از نقطه مورد نظر خود را دارند و گروه دیگر را مشتریان حمل و نقل اولیه[6] می نامند که شامل مشتریانی هستند که درخواست ارائه اقلام در نقاط خود را دارند. این گروه خود به دو زیرمجموعه تقسیم می شوند:

زیر مجموعه اول مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه همراه با حمل و نقل ثانویه[7] نام دارد. در این نمونه از مسئله تخلیه و بارگیری، نخست همه مشتریان حمل و نقل اولیه سرویس دهی می شوند و پس از آنها سرویس دهی به مشتریان حمل و نقل ثانویه آغاز می شود.

1. Multiple Activity Vehicle Routing Problem
2. Pickup & Delivery
3. Delivery & Pickup
4. Mail Express
5. Backhaul Customers
6. Line haul Customers
7. Vehicle Routing Problem with Backhauls

زیر مجموعه دوم، که مسئله مورد بررسی ما در این پژوهش را بصورت مستقیم تشکیل می دهد، شامل تخلیه و بارگیری بصورت همزمان[1] با زیر مجموعه تخلیه و بارگیری همزمان همراه با پنجره زمانی[2] می باشد. در این نوع مسئله تمام مشتریان حمل ونقل اولیه و ثانویه بصورت موازی مورد سرویس دهی قرار می گیرند. البته این سرویس دهی می بایست طبق محدودیت های ارائه شده در یک بازه زمانی خاص به اتمام رسانده شود.

این نوع از مسائل بدان جهت برای ما جذاب و قابل تامل است که نمونه هایی از آن را می توان مکررا در بسیاری از سطوح جامعه مشاهده نمود. بعنوان یک مثال از این نوع مسائل می توان به شرکت های پخش لبنیات که وظیفه پخش کردن شیر و اقلام لبنی تازه و جمع آوری اقلام تاریخ گذشته از سوپر مارکت های بزرگ در صبح های زود قبل از مراجعه انبوه مشتریان جهت خرید مواد لبنی را دارند اشاره کرد. در نمونه ای دیگر از این مسائل می توان به مسئله مغازه های خشک شوئی لباس ها اشاره نمود که با شروع سرویس های خود وظیفه جمع آوری البسه ها از منازل جهت شست شو و ارائه البسه های شستشو شده به درب منازل را بصورت همزمان انجام می دهند.

در ادامه به بیان تاریخچه ای از مسئله تخلیه و بارگیری بصورت همزمان که مسئله مورد بررسی این پایان نامه است می پردازیم.

۱.۵. مروری بر تاریخچه مسئله مسیر یابی:

مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه برای اولین بار در سال ۱۹۵۹ توسط Dantzig and Ramser [1] انجام شده است. آنها در مقاله ارائه شده خود به بیان مسئله مسیر یابی تعدادی خودرو های حمل سوخت بین انبار های سوخت و ایستگاه های سوخت رسانی پرداخته اند. در مقاله فوق تنها به بررسی کمینه کردن طول سفر های انجام شده در این مسئله پرداخته شده است در حالی که در دنیای واقعی محدودیت های بیشتری برای این سفر ها وجود دارد. از جمله از این محدودیت ها که در پایان نامه ما مورد بررسی بیشتری قرار می گیرد مسئله مسیر یابی وسایل نقلیه به همراه تخلیه و بارگیری همزمان می باشد. در این زمینه نیز همانند زمینه های دیگر تحقیقات و کار های فراوانی انجام شده است که شروع آن با ارائه یک مقاله توسط Golden B, Baker E, Alfaro J, Schaffer J [2] در سال ۱۹۸۵ می باشد. که در این مقاله، همانطور که مطرح شد، مشتریانی با تقاضای اولیه و مشتریانی با تقاضای ثانویه موجود می باشند و در الگوریتم ارائه شده توسط این نویسنده به مشتریان ثانویه پس از آنکه تمام مشتریان اولیه سرویس داده شده

1. Simultaneous Delivery & Pickup Problem
2. Simultaneous Delivery & Pickup Problem with Time Window

اند، سرویس داده خواهد شد. در ادامه با ارائه مقالات بیشتر توسط افراد مختلف، این تحقیقات رونق گرفت. مقالات Anily S, Mosheiov G [3] در سال ۱۹۹۴، Anily S [4] در سال ۱۹۹۶ از قدیمی ترین مقالات در این باره می باشند که در تمامی آنها مشتریان ثانویه پس از مشتریان اولیه، سرویس داده می شوند و نه بصورت همزمان و موازی. از ذکر تمام این مقالات به دلیل کثرت آنها صرف نظر می کنیم.

در سال های اخیر نیز تحقیقات فراوانی در این باره انجام شده که شامل پیاده سازی الگوریتم های مختلف جهت یافتن راه حل بهنیه جهت رسیدن به مسیر های بهینه در مسئله مورد ذکر می باشد که بعضی از آنان همانند الگوریتم های مطرح شده در فوق ثانویه می باشند و برخی دیگر عمل سرویس دهی را به تمام مشتریان بصورت موازی انجام می دهند. از نمونه های این تحقیقات، به ترتیب سال ارائه مقالات، می توان به ارائه مقاله توسط Zhang T, Chaovalitwongse W.A, Zhang Y [5] در سال ۲۰۱۲، مقاله Tasan A.S, Gen M [6] در همان سال و مقاله Goksal F.P, Karaoglan I, Altiparmak F [7] در سال ۲۰۱۲ اشاره نمود. در ادامه از مطرح کردن تمام مقالات و تحقیقات در این زمینه خودداری می کنیم و تنها به بیان تعدادی از مهمترین این مقالات که در این پایان نامه مورد استفاده قرار می گیرند، می پردازیم.

در همه مقالات فوق الذکر به بررسی مسائلی پرداخته شده است که تنها شامل مولفه های تخلیه و بارگیری بصورت موازی بوده اند. در حالی که تمرکز این پایان نامه پیشنهادی بر روی مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه، نه تنها به همراه تخلیه و بارگیری موازی در طول مسیر، بلکه در پنجره زمانی[1] خاص می باشد. این نوع از مسائل مسیر یابی وسایل نقلیه در دهه اخیر موضوع تحقیقات فراوانی بوده است و مقالات فراوانی در این خصوص منتشر شده است که از آن جمله می توان به مقاله Gajpal Y, Abad P [8] اشاره نمود که در سال ۲۰۰۹ از طریق الگوریتم کولونی مورچه ها[2] ، به راه حلی برای این مسئله دست پیدا کردند. در تحقیقی مشابه Ai T. J., Kachitvichyanukul V [9] با کمک الگوریتم پرندگان[3] و Zachariadis E. E., Tarantilis C. D., Kiranoudis C. T. [10] با استفاده از روش حافظه انطباقی[4] در سال ۲۰۱۰ راه حل های دیگری برای این مسئله ارائه نمودند. در ادامه Wang H.F, Chen Y.Y [11] در سال ۲۰۱۲ مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی مشخص را با کمک الگوریتم ژنتیک[5] پیاده سازی کرد. همین محقق در مقاله بعدی خود، که نسخه سخت افزاری آن در ابتدای سال

1. Time Window
2. Ant Colony Algorithm
3. Particle Swarm Algorithm
4. Adaptive Memory Methodology
5. Genetic Algorithm