بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکدهٔ علوم پایه

پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ
ریاضی کاربردی(تحقیق‌درعملیات)

عنوان :

مسیریابی وسایل نقلیه با استفاده از الگوریتم فوق‌ابتکاری Tabu Search

نگارش :

جعفر عیوض‌پور

استاد راهنما :

دکتر علاءالدین ملک

اسفند ۱۳۷۷

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیئت داوران نسخهٔ نهایی پایان نامه خانم/ آقای جعفر عیوض‌پور ۱۳۷۸/۴/۴ ۵

تحت عنوان: **مسیریابی وسایل نقلیه با استفاده از الگوریتم فوق ابتکاری Tabu search**

را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبهٔ علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	آقای دکتر علاءالدین ملک	استادیار	
۲- نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر مجتبی منیری	استادیار	
۳- استاد ناظر	آقای دکتر حسن صالحی فتح‌آبادی	دانشیار	
۴- استاد ناظر	آقای دکتر اسماعیل خرم	استادیار	

شماره:.....................
تاریخ:.....................
پیوست:.....................

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ   است که در سال   در دانشکدهٔ   دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر   و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر   از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های نشریات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به مرکز نشر دانشگاه اهدا کند دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب جعفر عیوض‌پور دانشجوی رشته ریاضی کاربردی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

عیوض‌پور
۸۷/۱۲/۸

تقدیم به:

پدر فداکارم

مادر مهربانم

برادران و خواهران
عزیزم

تقدیر و تشکر:

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق.

ایزد دانا را سپاسگزارم که توفیق بهره‌مندی از محضر اساتیدو معلمان بزرگوار را به این حقیر عطا فرمود و لذت آشنایی با علوم و معارف را ، هر چند بسیار اندک، به اینجانب چشاند. امیدوارم بتوانم این درسهای آموخته را به سایر فرزندان میهن عزیزم یاد داده و در انتقال علوم و بالندگی آن نقشی، هر چند کوچک ، داشته باشم.

در اینجا لازم می‌دانم از زحمات آقای دکتر علاءالدین ملک که زحمت راهنمائی این تحقیق را متحمل شده وکمک‌های شایانی انجام داده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.
همچنین از آقای دکتر منیری ،رئیس محترم گروه ریاضی دانشگاه تربیت مدرس، آقای دکتر صالحی از دانشگاه تهران و آقای دکتر خرم از دانشگاه صنعتی امیرکبیر نیز که پایان نامه را مطالعه فرموده وزحمات زیادی متقبل شده اند تشکر می‌نمایم.

همچنین ازاساتید معظم آقایان دکترعبدالحمیدریاضی، دکترسیدمحمدباقرکاشانی، دکترسیداحمدموسوی، دکترسیدمحمدحسینی، دکترصالحی‌فتح‌آبادی، دکترعزیزالله معماریانی و دکترحسام‌الدین‌زگردی به خاطر زحمات و کمک‌های ارزشمندشان متشکرم.

در طول تحصیلاتم از محضر معلمان و اساتید بسیاری کسب فیض کرده‌ام که در اینجا از همه آنها بویژه اساتید گرامی دانشگاه تربیت‌مدرس و دانشگاه تبریز بی‌نهایت تقدیر و تشکرمی نمایم.

بعلاوه از دوستان دانشجو که افتخار مصاحبت با آنها نصیبمان شد بخصوص آقایان مجید جعفری ریکانی، منوچهر بهبودی‌اصل، یوسف پرنیان، میرهاشم موسوی، غلامرضا حجتی، عزیزالله جعفری، جعفر رزم‌آرا و اکبر اصفهانی‌پور متواضعانه تشکر می‌کنم.
در پایان از زحمات و فداکاری‌های خانواده‌گرامیم مخلصانه قدردانی کرده وامیدوارم خداوند مرا یاری فرماید تا گوشه‌ای از زحمات آنها را جبران نمایم.

چکیده :

فرض کنید $G = (V, E)$ یک گراف کامل باشد که در آن $V = \{v_0, v_1, \ldots, v_n\}$ مجموعه رأس ها و $E = \{(v_i, v_j): v_i, v_j \in V\}$ مجموعه کمان هاست. رأس v_0 محل آشیانه است که در آن تعدادی وسیله نقلیه مستقر است. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) عبارتست از پیدا کردن تعدادی مسیر بطوریکه هر رأس دقیقاً بر یک مسیر واقع شده و تعداد مسیرهای مورد نیاز کمینه بوده و در عین حال مسافت کل پیموده شده کمینه گردد. در مسأله مسیریابی دوره ای وسایل نقلیه $(PVRP)$ دوره زمانی برنامه ریزی به چند روز گسترش می یابد که در آن هر مشتری چند ترکیب مختلف از روزها را برای دریافت خدمت پیشنهاد می کند و هر جواب مسأله باید تنها یکی از این ترکیب ها را برای هر مشتری انتخاب کند. بعلاوه سایر شرایط مسایل مسیریابی وسایل نقلیه نیز برقرار می‌باشد. این مسأله یک مسأله $Np-hard$ است که در آن تعداد محاسبات لازم برای رسیدن به جواب بهینه با افزایش اندازه مسأله بطور نمائی رشد می‌کند. یافتن جواب این مسأله با استفاده از الگوریتم‌های دقیق ، که مستلزم استفاده از مفاهیم گراف‌ها وشبکه است، کار بسیار زمان‌بری می‌باشد که حتی برای مسایل معمولی نیز نیاز به صرف مدت زمان محاسبه نامعقولی است. حل این گونه مسایل با استفاده از روشهای ابتکاری نیز اغلب بدلیل گرفتار شدن این روشها در بهینه‌های موضعی به جواب بهینه‌مطلق منجر نمی‌شود. در تحقیقات جدید تمایل زیادی به استفاده از روشهای فوق‌ابتکاری (که الگوریتمهائی برای هدایت روشهای ابتکاری موجود می‌باشند)، برای مقابله با این مشکل به چشم می‌خورد. روش فوق‌ابتکاری جستجوی تابو، که در این پایان‌نامه برای حل مسأله مطروحه بکارمی‌رود، یکی از کارآمدترین روشهای ارائه شده است که خیلی سریع به جواب نزدیک-بهین میرسد. در فصل پایانی نتایج حاصل از این روش را با سایر روشها مقایسه می‌کنیم.

همچنین مدلبندی ارائه شده برای $PVRP$ نیز دارای این امتیاز است که می‌توان دومسأله مشابه دیگر یعنی $PTSP, MDVRP$ را نیز به این صورت مدلبندی کرد وآنها را با استفاده از روش پیشنهادی حل کرد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی ترکیبیاتی، مسأله مسیریابی‌دوره‌ای وسایل‌نقلیه، روش‌های فوق‌ابتکاری، جستجوی تابو

فهرست مطالب

صفحه عنوان

فصل اول

مقدماتی بر نظریهٔ گراف

و

مساله فروشندهٔ دوره‌گرد

۱ -۱ مروی بر نظریهٔ گراف

۱ -۱ -۱ تعاریف مقدماتی

تعریف : هر گراف را به صورت (G=(V,E نشان می‌دهیم که در آن V مجموعهٔ رأس‌ها یا گره‌ها و E مجموعهٔ ضلع‌ها یا کمان‌ها است.

گراف‌ها بسته به جهت‌دار یا بدون جهت بودن اضلاع به دو گروه گراف‌های جهت‌دار و گراف‌های بدون جهت تقسیم می شوند.

تعریف گشت[۱] : یک گشت عبارت است از یک مجموعه متناهی از رأس‌ها و کمانهای متوالـی کـه آغاز و پایان آن از رأس‌هاست.

رأس‌هایی را که یک گشت از آن شروع شده یـا بـه آن ختـم مـی شـود، رأس‌هـای انتهـایی[۲] گویند. همچنین گشت‌ها را به دو دستهٔ کلی گشتهای باز و گشتهای بسته تقسیم می‌کنند. منظـور از گشت باز، گشتی است که نقاط شروع و پایان آن برهم منطبق نباشند. گشتی را که باز نباشد، بسـته گویند.

تعریف مسیر: گشتی را در آن هیچ رأسی بیش از یک بار ظاهر نشود یک مسیر[۳] گویند.

تعریف : گراف G را مرتبط[۴] گویند هرگاه بین هر دو رأس آن حداقل یک مسیر وجود داشته باشد.

۱ -۱ -۲ مسیرها و مدارهای هامیلتونی

تعریف : یک مدار هامیلتونی[۵] در یک گراف مرتبط G عبارت است از یک گشـت بسـته کـه از هـر رأس از G دقیقاً یک بار بگذرد. البته این مدار از نقطهٔ آغازی که همـان نقطهٔ پایـانی اسـت دو بـار خواهد گذشت. برای مثال در شکل (۱-۱) دو مدار هامیلتونی نشان داده شده است.

---

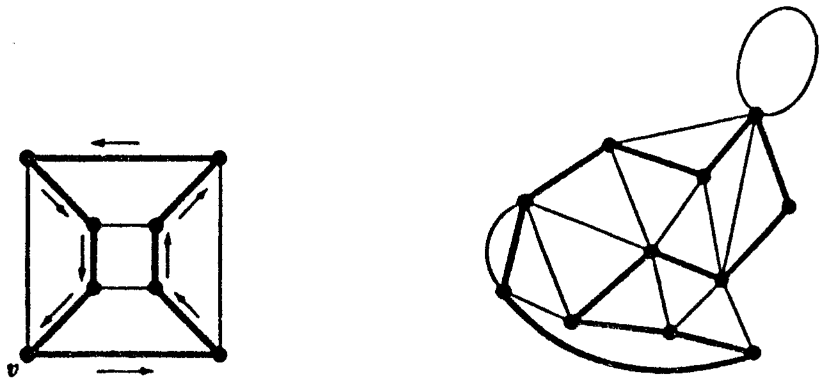
[۱] Walk

[۲] Terminal

[۳] Path

[۴] Connected

[۵] Hamiltonian

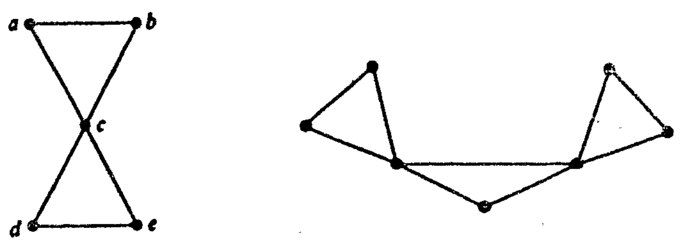


(a) (b)

شکل (۱-۱) مدارهای هامیلتونی

بنابر تعریف بالا در یک گراف مرتبط G، یک مدار را هامیلتونی گویند هرگاه از هر رأس دقیقاً یکبار بگذرد. لذا در یک گراف n رأسی یک مدار هامیلتونی دقیقاً شامل n کمان خواهدبود.

روشن است که هر گراف مرتبطی دارای مدار هامیلتونی نیست. به عنوان مثال هیچ کدام از گراف‌های شکل (۱-۲) دارای مدار هامیلتونی نیستند.



شکل (۱-۲) گراف‌های مرتبطِ بدون مدار هامیلتونی

در اینجا یک سؤال مهم پیش می‌آید : شرط لازم و کافی برای آنکه یک گراف مرتبط دارای مدار هامیلتونی باشد، چیست؟

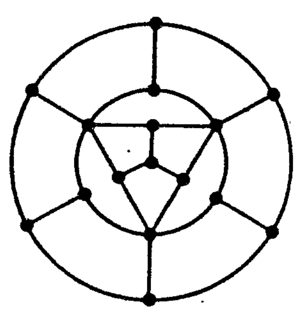
این سؤال برای اولین بار در سال ۱۸۵۹ توسط ریاضی‌دان مشهور ایرلندی هامیلتون[1] مطرح شد و تابحال حل نشده باقی مانده‌است. البته برخی از انواع گرافها وجود دارند که حتماً شامل مدارهای هامیلتونی هستند. قبل از معرفی آنها چند تعریف می‌آوریم.

[1] Sir William Rowan Hamilton

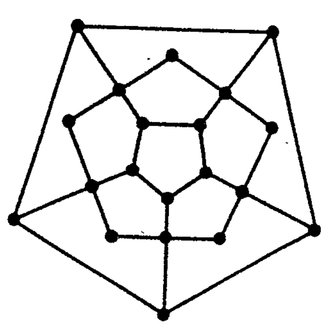
مسیر هامیلتونی[1] : اگر یکی از اضلاع یک مدار هامیلتونی را حذف کنیم باقی‌مانده یک مسیر هامیلتونی خواهد بود. بدیهی است که هر مسیر هامیلتونی در گراف G شامل همهٔ رأسهای G می‌باشد. از آنجا که هر مسیر هامیلتونی یک زیرگراف یک مدار هامیلتونی است هر گرافی که یک مدار هامیلتونی داشته باشد، دارای مسیر هامیلتونی نیز خواهد بود. البته گرافهای بسیار زیادی وجود دارند که دارای مسیر هامیلتونی بوده ولی شامل هیچ مدار هامیلتونی نیستندو در یک گراف مرتبط با n رأس هر مسیر هامیلتونی (در صورت وجود) دارای n-1 ضلع خواهد بود.

تعریف : گراف G را یک گراف ساده[2] گویند هرگاه شامل هیچ دو کمان موازی و نیز خود- حلقه[3] نباشد.

در بررسی وجود مدارها یا مسیرهای هامیلتونی فقط کافی است گرافهای ساده را در نظر بگیریم. از آنجا که هر مسیر یا مدار هامیلتونی دقیقاً یکبار هر رأس را می‌پیماید، بنابراین نمی تواند شامل خود - حلقه‌ها یا اضلاع موازی باشد. لذا قبل از جستجو به دنبال مدارهای هامیلتونی خود - حلقه‌ها و نیز اضلاع موازی را حذف می‌کنیم. در شکل (۱-۳) نیز دو گراف که شامل هیچ مدار هامیلتونی نیستند را نشان داده‌ایم.



(a)



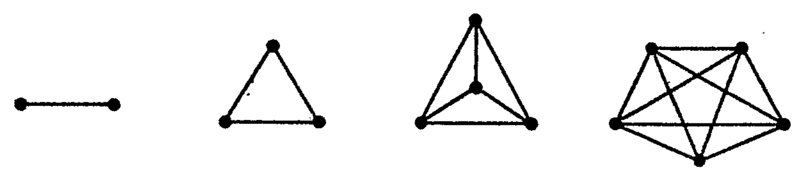
(b)

شکل (۱-۳) دو گراف بدون مدار هامیلتونی

[1] Hamiltonian Path
[2] Simple
[3] self-loop

قبل از ادامهٔ بحث در مورد مدار هامیلتونی تعریف زیر را می‌آوریم.

تعریف : یک گراف ساده که در آن بین هر دو رأس یک کمان وجود داشته باشد یک گراف کامل[1] نامیده می‌شود. گراف‌های کامل شامل ۲، ۳، ۴ و ۵ رأس را در شکل (۱-۴) نشان داده‌ایم.



شکل (۱-۴) گراف‌های کامل ۲، ۳، ۴ و ۵ رأسی

از آنجا که در گراف‌های کامل هر رأس به همهٔ رأس‌های دیگر وصل می‌باشد، درجهٔ هر رأس برابر n-۱ می‌باشد. بنابراین تعداد کل کمانها برابر است با $n(n-1)/2$.

در گراف‌های کامل پیدا کردن یک مدار هامیلتونی بسیار آسان است. زیرا اگر رأس‌ها را از ۱ تا n شماره‌گذاری کرده باشیم، با حرکت از رأس ۱ و به ترتیب صعودی به رأس n خواهیم رسید، مسیر حاصله یک مدار هامیلتونی خواهد بود.

۱ -۱ -۳ مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد از دیدگاه مدارهای هامیلتونی

یکی از مسائلی که با مدارهای هامیلتونی رابطهٔ بسیار نزدیک دارد، مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد است که به صورت زیر بیان می‌شود : فروشنده‌ای می‌خواهد در طول سفر از تعدادی شهر بگذرد. با معلوم بودن مسافت بین شهرها، با چه ترتیبی به این شهرها سفر کند تا اولاً از هر شهر دقیقاً یکبار بگذرد و ثانیاً مسافت کل پیموده شده کمینه باشد؟ در این مسئله اگر از هر شهر به همهٔ شهرهای دیگر راه وجود داشته باشد، یک گراف کامل خواهیم داشت. این گراف مدارهای هامیلتونی متعددی دارد و ما می‌خواهیم آن مداری را پیدا کنیم که کوچکترین مجموع مسافت‌ها را داشته باشد.

قضیه : هر گراف کامل با n رأس دارای $\frac{1}{2}(n-1)!$ مدار هامیلتونی می‌باشد.

[1] Complete