

اسکن شد
تاریخ: ۸/۱۱/۸۰
توسط: [نام نامشخص]

۴۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۷۳۰
۸/۱۱/۸۰

۲۴۵۵۷



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم پایه

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته
ریاضی کاربردی (تحقیق در عملیات)

عنوان :

مسیریابی وسایل نقلیه با استفاده از الگوریتم
فوق ابتکاری Tabu Search

نگارش :

جعفر عیوض پور

استاد راهنما :

دکتر علاءالدین ملک

اسفند ۱۳۷۷

۲۴۵۵۷

۱۵۳۱/۲

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

اعضای هیئت داوران نسخه نهایی پایان نامه خانم / آقای جعفر عیوض پور ۱۳۲۸ / ۲ / ۴ هـ

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 می کنند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
-------	-----------	--------------------	-------------------

استادیار

آقای دکتر علاءالدین ملک

۱- استاد راهنما

استادیار

آقای دکتر مجتبی منیری

۲- نماینده تحصیلات تکمیلی

دانشیار

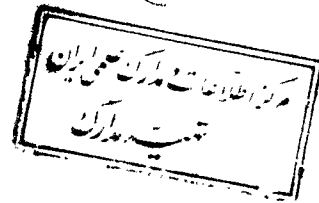
آقای دکتر حسن صالحی فتح آبادی

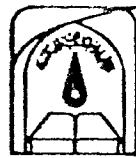
۳- استاد ناظر

استادیار

آقای دکتر اسماعیل خرم

۴- استاد ناظر





شماره:
تاریخ:
پیوست:

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

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

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

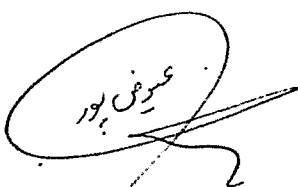
کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است
که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/ جناب
آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/ جناب آقای دکتر از آن دفاع شده
است.

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

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب **جعفر عموی پور** دانشجوی رشته **ریاضی کاربردی** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.


۷۱۱۶۸

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 اساتید و 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 راهنمایی این تحقیق را متحمل شده و کمک‌های 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 و زحمات زیادی متقبل شده اند تشکر می‌نمایم.

همچنین از اساتید معظم آقایان دکتر عبدالحمید ریاضی، دکتر سید محمد باقر کاشانی، دکتر سید احمد موسوی، دکتر سید محمد حسینی، دکتر صالحی فتح‌آبادی، دکتر عزیزالله معماریانی و دکتر حسام‌الدین زگردی 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 تربیت مدرس و دانشگاه تبریز بی‌نهایت تقدیر و تشکر می‌نمایم.

بعلاوه از دوستان دانشجو که افتخار مصاحبت با آنها نصیبمان شد بخصوص آقایان مجید جعفری ریکانی، منوچهر بهبودی اصل، یوسف پرنیان، میرهاشم موسوی، غلامرضا حجتی، عزیزالله جعفری، جعفر رزم‌آرا و اکبر اصفهانی پور متواضعانه تشکر می‌کنم. در پایان از زحمات و فداکاری‌های خانواده گرامیم مخلصانه قدردانی کرده و امیدوارم 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 $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ 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 می باشد. این مسأله یک $Np - hard$ است که در آن تعداد محاسبات لازم برای رسیدن به جواب بهینه با افزایش اندازه مسأله بطور نمائی رشد می کند. یافتن جواب این مسأله با استفاده از الگوریتم های دقیق، که مستلزم استفاده از مفاهیم گرافها و شبکه است، کار بسیار زمان بری می باشد 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 بهینه های موضعی به جواب بهینه مطلق منجر نمی شود. در تحقیقات جدید تمایل زیادی به استفاده از روشهای فوق ابتکاری (که الگوریتمهایی برای هدایت روشهای ابتکاری موجود می باشند)، برای مقابله با این مشکل به چشم می خورد. روش فوق ابتکاری جستجوی تابو، که در این پایان نامه برای حل مسأله مطروحه بکار می رود، 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 می کنیم.

همچنین مدلبندی ارائه شده برای PVRP نیز دارای این امتیاز است که می توان دو مسأله مشابه دیگر یعنی PTSP, MDVRP را نیز به این صورت مدلبندی کرد و آنها را با استفاده از روش پیشنهادی حل کرد.

واژگان کلیدی: بهینه سازی ترکیباتی، مسأله مسیریابی دوره ای وسایل نقلیه، روش های فوق ابتکاری، جستجوی تابو

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول مقدماتی بر نظریه گراف و مساله فروشنده دوره گرد
۲	۱-۱-۱ مروی بر نظریه گراف
۲	۱-۱-۱ تعاریف مقدماتی
۲	۱-۱-۲ مسیرها و مدارهای هامیلتونی
۵	۱-۱-۳ مسئله فروشنده دوره گرد از دیدگاه مدارهای هامیلتونی
۶	۱-۲-۱ مروی بر مبحث پیچیدگی الگوریتمها
۶	۱-۲-۱ مسائل تصمیم
۹	۲-۲-۱ کلاسهای P و NP
۷	۲-۲-۱ تخفیفهای چندجمله‌ای (Polynomial reductions)
۹	۳-۱ مساله فروشنده دوره گرد و روش حل آن
۱۳	فصل دوم آشنایی با مساله مسیریابی خودروها
۱۴	۱-۲ مقدمه
۱۵	۱-۱-۲ VRP و تعمیمهای آن
۱۷	۲-۱-۲ برخی شرایط عملی مسائل مسیریابی وسایل نقلیه
۱۹	۲-۲ فرمولبندی VRP
۱۹	۱-۲-۲ فرمولبندی ۱ [Fisher & Jaikumar ۱۹۷۸، ۱۹۸۱]
۲۰	۲-۲-۲ فرمولبندی ۲ [Christofides, Mingozzi & Toth ۱۹۸۰]
۲۱	۳-۲-۲ فرمولبندی ۳ [Christofides, Mingozzi & Toth ۱۹۸۰]
۲۳	۳-۲ روشهای ابتکاری برای حل VRP
۲۳	۱-۳-۲ روشهای سازنده (Constructive methods)
۲۵	۲-۳-۲ روشهای دو مرحله‌ای
۲۸	فصل سوم مساله مسیریابی دوره‌ای خودروها
۲۹	۱-۳ مقدمه
۳۲	۲-۳ مروی بر روشهای حل PVRP

۳۴.....	۳-۳ روش ابتکاری Chao و Golden و Wasil برای حل PVRP.....
۳۴.....	۳-۳-۱ تخفیف قید ظرفیت.....
۳۵.....	۳-۳-۲ مقداردهی اولیه.....
۳۷.....	۳-۳-۳ حرکت تک-نقطه‌ای.....
۴۰.....	۳-۳-۴ بهبود.....
۴۰.....	۳-۳-۵ بهبود 2-opt.....
۴۰.....	۳-۳-۶ تبدیل به جوابهای شدنی.....
۴۲.....	۳-۳-۷ بهبود نشدنی بودن.....
۴۳.....	۳-۳-۸ مقداردهی اولیه مجدد I.....
۴۴.....	۳-۳-۹ مقداردهی اولیه II.....
۴۶.....	فصل چهارم آشنایی با روشهای فوق‌ابتکاری.....
۴۷.....	۴-۱ مقدمه.....
۴۷.....	۴-۲ بهینه‌سازی ترکیباتی.....
۴۹.....	۴-۳ روش‌های فوق‌ابتکاری: Metaheuristics.....
۵۰.....	۴-۴ جستجوی کلاسیک همسایگی.....
۵۲.....	۴-۵ جستجوی تابو.....
۵۵.....	فصل پنجم کلیات روش فوق‌ابتکاری جستجوی تابو.....
۵۶.....	۵-۱ روش جستجوی تابو چیست؟.....
۶۴.....	۵-۱-۱ برخی دیگر از اجزای جستجوی تابو: معیار توقع.....
۶۶.....	۵-۱-۲ تقویت و متنوع‌سازی Intensification and diversification.....
۶۷.....	۵-۲ تصفیه الگوریتم جستجوی تابو.....
۶۸.....	۵-۲-۱ بهبودهای تاکتیکی.....
۷۱.....	۵-۲-۱-۱ کشف بهبودها بوسیله "آنالیز هدف".....
۷۲.....	۵-۲-۱-۲ روش جریمه انتقالی.....
۷۳.....	۵-۲-۱-۳ نوسان استراتژیک و اصل بهینگی مستقیم (POP).....
۷۵.....	۵-۲-۲ بهبودهای تکنیکی جستجو.....
۷۵.....	۵-۲-۲-۱ اندازه همسایگی‌ها و لیست نامزدها.....
۷۷.....	۵-۲-۲-۲ انواع لیست‌های تابو.....
۷۸.....	۵-۲-۲-۳ اندازه لیست تابو.....
۸۰.....	۵-۲-۲-۴ معیار توقع.....
۸۱.....	۵-۲-۳ بهبودهای محاسباتی.....

۸۲.....	۵-۲-۳-۱ پردازش موازی
۸۳.....	۵-۳ نتیجه‌گیری
۸۵.....	فصل ششم الگوریتمهای جدید ورود و حذف گره‌ها در تورهای TSP
۸۶.....	۶-۱ مقدمه
۸۶.....	۶-۲ معرفی روش GENI - رویه تعمیم‌یافته وارد کردن یک رأس به تور
۸۶.....	۶-۲-۱ نوع I وارد کردن
۸۷.....	۶-۲-۲ نوع II وارد کردن
۹۰.....	۶-۳ حذف و اضافه (US)
۹۰.....	۶-۳-۱ نوع I حذف
۹۰.....	۶-۳-۲ نوع II حذف
۹۲.....	فصل هفتم ارائه مدل و الگوریتم پیشنهادی و نتایج عددی
۹۳.....	۷-۱ مقدمه
۹۳.....	۷-۲ مدل‌بندی
۹۶.....	۷-۳ الگوریتم جستجوی تابو TS
۹۷.....	۷-۳-۱ ساخت جواب اولیه
۹۸.....	۷-۳-۲ کارکرد عمومی الگوریتم جستجو
۱۰۰.....	۷-۳-۳ توصیف گام به گام الگوریتم جستجو
۱۰۳.....	۷-۴ نتایج عددی
۱۰۳.....	۷-۴-۱ تحلیل حساسیت
۱۰۶.....	۷-۴-۱-۱ پارامتر γ
۱۰۶.....	۷-۴-۱-۲ پارامتر δ
۱۰۷.....	۷-۴-۱-۳ پارامتر θ
۱۰۸.....	۷-۴-۱-۴ پارامترهای η و p
۱۰۹.....	۷-۴-۱-۵ نتایج بدست آمده از حل مسائل بطور تصادفی تولید شده
۱۱۲.....	۷-۴-۲ نتایج عددی حاصل از حل مسائل حل شده توسط الگوریتم جدید
۱۱۲.....	۷-۴-۲-۱ نمونه‌های حل شده مساله PVRP
۱۱۵.....	۷-۴-۲-۲ مسائل حل شده نمونه برای PTSP
۱۱۷.....	۷-۴-۲-۳ حل مسائل نمونه از MDVRP
۱۲۱.....	منابع و مراجع

فصل اول

مقدماتی بر نظریهٔ گراف

و

مساله فروشندهٔ دوره‌گرد

۱-۱ مروی بر نظریه گراف

۱-۱-۱ تعاریف مقدماتی

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

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

تعریف گشت^۱: یک گشت عبارت است از یک مجموعه متناهی از رأس‌ها و کمانهای متوالی که آغاز و پایان آن از رأس‌هاست.

رأس‌هایی را که یک گشت از آن شروع شده یا به آن ختم می‌شود، رأس‌های انتهایی^۲ گویند. همچنین گشت‌ها را به دو دسته کلی گشتهای باز و گشتهای بسته تقسیم می‌کنند. منظور از گشت باز، گشتی است که نقاط شروع و پایان آن برهم منطبق نباشند. گشتی را که باز نباشد، بسته 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 گشت بسته که از هر رأس از G دقیقاً یک بار بگذرد. البته این مدار از نقطه آغازی که همان نقطه پایانی است دو بار خواهد گذشت. برای مثال در شکل (۱-۱) دو مدار هامیلتونی نشان داده شده است.

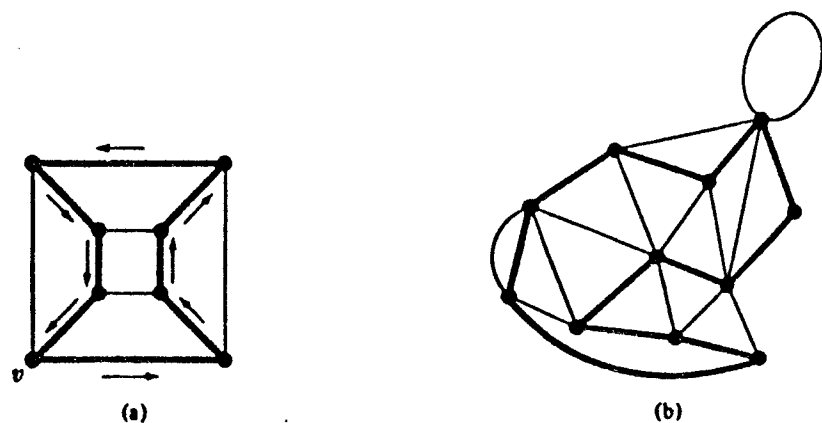
^۱ Walk

^۲ Terminal

^۳ Path

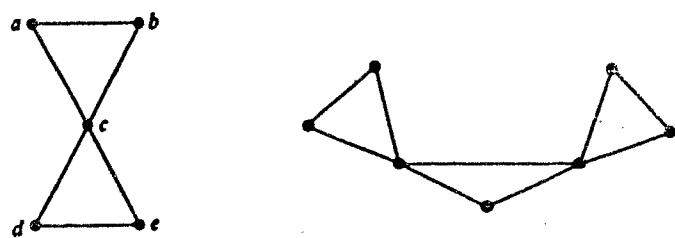
^۴ Connected

^۵ Hamiltonian



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



شکل (۲-۱) گراف‌های مرتبط بدون مدار هامیلتونی

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

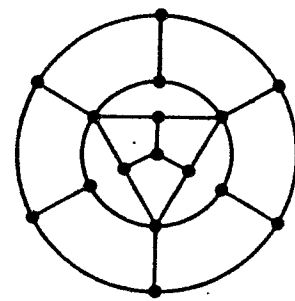
این سؤال برای اولین بار در سال ۱۸۵۹ توسط ریاضی‌دان مشهور ایرلندی هامیلتون^۱ مطرح شد و تا بحال حل نشده باقی مانده است. البته برخی از انواع گرافها وجود دارند که حتماً شامل مدارهای هامیلتونی هستند. قبل از معرفی آنها چند تعریف می‌آوریم.

^۱ Sir William Rowan Hamilton

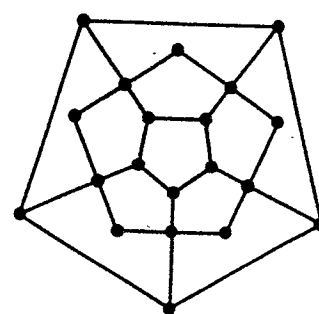
مسیر هامیلتونی^۱: اگر یکی از اضلاع یک مدار هامیلتونی را حذف کنیم باقی مانده یک مسیر هامیلتونی خواهد بود. بدیهی است که هر مسیر هامیلتونی در گراف G شامل همه رأسهای G می باشد. از آنجا که هر مسیر هامیلتونی یک زیرگراف یک مدار هامیلتونی است هر گرافی که یک مدار هامیلتونی داشته باشد، دارای مسیر هامیلتونی نیز خواهد بود. البته گرافهای بسیار زیادی وجود دارند که دارای مسیر هامیلتونی بوده ولی شامل هیچ مدار هامیلتونی نیستند و 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^۲ گویند هرگاه شامل هیچ دو کمان موازی و نیز خود-حلقه^۳ 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 می پیماید، بنابراین نمی تواند شامل خود - حلقه ها یا اضلاع موازی باشد. لذا قبل از جستجو به دنبال مدارهای هامیلتونی خود - حلقه ها و نیز اضلاع موازی را حذف می کنیم. در شکل (۳-۱) نیز دو گراف که شامل هیچ مدار هامیلتونی نیستند را نشان داده ایم.



(a)



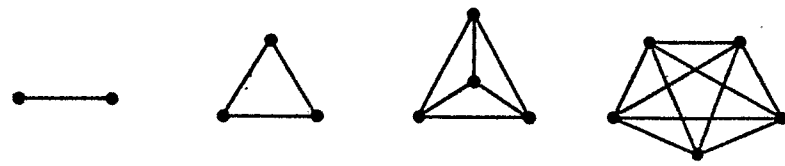
(b)

شکل (۳-۱) دو گراف بدون مدار هامیلتونی

^۱ Hamiltonian Path^۲ Simple^۳ self-loop

قبل از ادامه 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^۱ نامیده می‌شود. گراف‌های کامل شامل ۲، ۳، ۴ و ۵ رأس را در شکل (۴-۱) نشان داده‌ایم.



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

از آنجا که در گراف‌های کامل هر رأس به همه رأس‌های دیگر وصل می‌باشد، درجه هر رأس برابر $n-1$ 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.

۱-۳ مسئله فروشنده دوره‌گرد از دیدگاه مدارهای هامیلتونی

یکی از مسائلی که با مدارهای هامیلتونی رابطه بسیار نزدیک دارد، مسئله فروشنده 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 همه 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 $(n-1)!$ مدار هامیلتونی می‌باشد.

^۱ Complete