بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کردستان
دانشکده علوم
گروه ریاضی

# رویکرد شبکهٔ عصبی برای حل مسالهٔ فروشندهٔ دوره گرد

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی گرایش تحقیق در عملیات

پژوهشگر:

**ابراهیم غلامی**

استاد راهنما:

**دکتر فرهاد جنتی**

مهر ۱۳۸۷

**دانشگاه کردستان**
دانشکده علوم
گروه ریاضی

# رویکرد شبکه عصبی برای حل مساله فروشنده دوره گرد

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی گرایش تحقیق در عملیات

آقای ابراهیم غلامی

در تاریخ **هجدهم مهر یکهزارو سیصدو هشتادو هفت** پایان نامه مربوطه توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر با نمره **هجده و هشتادو پنج صدم** مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

1ـ استاد راهنمای پایان نامه — دکتر فرهاد جنتی

2ـ استاد مشاور پایان نامه — دکتر امجد علی پناه

3ـ استاد داور خارجی — دکتر عیسی نخعی

4ـ استاد داور داخلی — دکتر کیومرث کرمی

دکتر کمال شا نظری
معاون پژوهشی و نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده علوم

دانشگاه کردستان
دانشکده علوم پایه
معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشگاه کردستان
دانشکده علوم پایه
گروه ریاضی

# قدردانی

اینک که با خواست و توجه ایزد منان موفق شدم گامی بسیار کوچک در عرصه کسب دانش به جلو بردارم شایسته است از تمامی کسانی که به نوعی در این امر یاری گر من بوده اند یادی کرده و مراتب سپاسگزاری خویش را بیان نمایم. هرچند که خود را قادر به جبران گوشه ای از محبت های ایشان نمی بینم.

در ابتدا از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر فرهاد جنتی که با بذل دقت و حوصله بیشترین سهم را در هدایت و راهنمایی این تحقیق داشته اند و سپس از استاد گرامی جناب آقای دکتر امجد علی پناه که مرا در امر مشاوره یاری نموده اند سپاسگزارم.

همچنین شایسته است از مدیر محترم گروه ریاضی و سایر اساتید این گروه که با حسن درایت موجبات تحقق این تحقیق را فراهم آورده اند قدر دانی نمایم. در پایان از دوست خوبم جناب آقای دکتر کیومرث کرمی در گروه فیزیک که در تحقیق از یاری و مساعدتش بسیار بهره برده ام سپاسگزارم.

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی ازتحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه کردستان است.

## چکیده

مساله فروشنده دوره گرد، جزء مسائل مشهور و کلاسیک تحقیق در عملیات می باشد، این مساله از جمله مسائل بهینه سازی ترکیباتی و از خانواده مساله های $NP-hard$ است یعنی هیچ الگوریتم دقیقی از مرتبه چند جمله ایی برای آن ابداع نشده است لذا با زیاد شدن شهر ها زمان حل آن به صورت نمایی افزایش می یابد. در مساله فروشنده دوره گرد تعدادی شهر وجود دارد که یک شخص یا فروشنده می خواهد از یکی از شهر ها شروع و به تمام شهر ها سفر نماید و در نهایت به شهر اول باز گردد، به شرطی که از هر شهر فقط یکبار عبور نماید به طوری که هزینه کل مسیر طی شده توسط فروشنده کمینه شود.

طی چندین دههٔ اخیر، روش های زیادی برای حل این مساله ارائه شده است. در این تحقیق مهمترین روش های دقیق و ابتکاری این مساله مورد بررسی قرار گرفته است.

در این تحقیق یک روش جدید برای حل مساله فروشنده دوره گرد بسط داده شده است، در این روش با تلفیق یک شبکه عصبی مصنوعی و اصل «برنده همه را می برد» یک جواب برای مساله تولید شده و سپس با استفاده از تکنیک جستجوی دو نقطه ای محلی جواب ها بهبود داده می شود.

رویکرد جدید بر روی تعدادی از مسائل فروشنده دوره گرد به کار گرفته شده و محاسبات، نتایج رضایت بخشی را نشان می دهد.



واژه های کلیدی: مساله فروشنده دوره گرد، شبکه های عصبی مصنوعی، اصل «برنده همه را می برد».

تقدیم به همسر مهربانم و فرزندان عزیزم
ژوان و رامیار

# فهرست مندرجات


**۱ مقدمه** ۱

۱—۱ پیدایش و توسعهٔ تحقیق در عملیات . . . . . ۱

۱—۲ بهینه سازی ترکیباتی . . . . . ۴

۱—۳ روش های حل $IP$ . . . . . ۸

۱—۳—۱ روش های شمارشی . . . . . ۸

۱—۳—۲ روش های برشی . . . . . ۱۳

۱—۳—۳ روش های ابتکاری و فرا ابتکاری . . . . . ۱۶

**۲ مسالهٔ فروشندهٔ دوره گرد** ۲۶

۲—۱ مقدمه . . . . . ۲۶

۲–۲ تاریخچهٔ مسالهٔ فروشندهٔ دوره گرد . . . . . ۲۸

۲–۳ تعریف مسالهٔ فروشندهٔ دوره گرد . . . . . ۳۰

۲–۴ فرمول بندی مسالهٔ $TSP$ . . . . . ۳۳

۲–۵ مسائل مرتبط با مساله $TSP$ . . . . . ۳۹

۲–۵–۱ مساله تخصیص و مساله تخصیص درجه دوم . . . . . ۳۹

۲–۵–۲ مساله طولانی ترین و کوتاه ترین مسیر . . . . . ۴۱

۲–۶ انواع مساله $TSP$ . . . . . ۴۳

۲–۶–۱ مساله فروشنده دوره گرد گلوگاهی . . . . . ۴۳

۲–۶–۲ مساله فروشنده دوره گرد احتمالی . . . . . ۴۴

۲–۶–۳ مساله فروشنده دوره گرد زمان دار . . . . . ۴۵

۲–۶–۴ مساله فروشنده دوره گرد تعمیم یافته . . . . . ۴۶

۲–۶–۵ مساله فروشنده دوره گرد تعمیم یافته تو در تو مرتبه ۲ . . . . . ۴۷

۲–۷ روش های دقیق حل مساله $TSP$ . . . . . ۴۹

۲–۷–۱ مدل های خطی مساله فروشنده دوره گرد . . . . . ۴۹

۲–۷–۲ روش شمارش کامل . . . . . ۴۹

۲–۷–۳ برنامه ریزی پویا . . . . . ۵۰

۲–۷–۴ روش های انشعاب و تحدید . . . . . ۵۱

۲—۸ کاربردهای مساله $TSP$ . . . . . ۵۷
۲—۸—۱ مسیر یابی وسایل نقلیه . . . . . ۵۷
۲—۸—۲ سیم کشی کامپیوتر . . . . . ۵۸
۲—۸—۳ ترتیب بندی کارهای دارای زمان آماده سازی . . . . . ۵۹
۲—۸—۴ برش کاغذ دیواری . . . . . ۶۲
۲—۸—۵ بلور شناسی . . . . . ۶۳

۲—۹ روش های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل مساله $TSP$ . . . . . ۶۵

## ۳ شبکه های عصبی ۷۰

۳—۱ مقدمه . . . . . ۷۰

۳—۲ مغز انسان و کامپیوتر . . . . . ۷۲

۳—۳ آشنایی با فیزیولوژی اعصاب . . . . . ۷۶

۳—۴ شبکه های عصبی مصنوعی . . . . . ۸۰
۳—۴—۱ مدل های ریاضی نرون . . . . . ۸۲
۳—۴—۲ تابع انتقال . . . . . ۸۳
۳—۴—۳ نمایش شبکه های عصبی در قالب گراف جهت دار . . . . . ۸۷

۳–۴–۴ معماری شبکه های عصبی . . . . . ۹۰
۳–۴–۵ آموزش و یادگیری شبکه های عصبی مصنوعی . . . . . ۹۴

۳–۵ شبکه هاپفیلد . . . . . ۱۰۰
۳–۵–۱ شبکه گسسته هاپفیلد . . . . . ۱۰۰
۳–۵–۲ شبکه پیوسته هاپفیلد . . . . . ۱۰۵

**۴ کاربرد شبکه های عصبی در بهینه سازی** ۱۰۷

۴–۱ تاریخچه . . . . . ۱۰۷

۴–۲ انرژی شبکه عصبی . . . . . ۱۰۹

۴–۳ برآورد شرط و بهینه سازی . . . . . ۱۱۳

۴–۴ استفاده از شبکهٔ عصبی هاپفیلد در حل مسالهٔ $TSP$ . . . . . ۱۱۷

**۵ حل مساله فروشنده دوره گرد با استفاده از رویکرد پیشنهادی** ۱۲۱

۵–۱ فرمول بندی مساله فروشنده دوره گرد در رویکرد پیشنهادی . . . . . ۱۲۱

۵–۲ شبکه عصبی مورد استفاده در رویکرد پیشنهادی . . . . . ۱۲۷

۵–۲–۱ ساختار شبکه عصبی وانگ . . . . . ۱۲۷

۵–۳ اصل «برنده همه را می برد» . . . . . ۱۳۷

۵–۴ تنظیم پارامتر های شبکه . . . . . ۱۳۹

۵–۵ رویکرد پیشنهادی . . . . . ۱۴۰

۵–۶ نتایج محاسباتی . . . . . ۱۴۴

۵–۷ نتیجه گیری . . . . . ۱۴۹

# لیست اشکال


۱—۱ درخت شمارش در روش شمارشی . . . . . ۹

۱—۲ صفحات برشی . . . . . ۱۴

۱—۳ خروج مورچه ها از لانه و پراکنده شدن برای یافتن غذا . . . . . ۲۲

۱—۴ فرمون های به جای مانده در مسیر لانه به غذا . . . . . ۲۳

۱—۵ کوتاه ترین مسیر برای رسیدن به غذا . . . . . ۲۳

۱—٦ مسیر حول مانع . . . . . ۲۴

۱—۷ حرکت مورچه از لانه به طرف غذا با وجود مانع . . . . . ۲۵

۲—۱ گراف متناظر $TSP$ متقارن . . . . . ۳۱

۲—۲ گراف متناظر $TSP$ نا متقارن . . . . . ۳۲

۲—۳ درخت فضای حالت . . . . . ۵۵

۳—۱ نمایی از یک نرون . . . . . ۷۶

۳—۲ جزئیات سیناپسی . . . . . ۷۷

۳—۳ نمایی کلی از شبکه های عصبی مصنوعی . . . . . ۸۰

۳—۴ مدل یک نرون . . . . . ۸۲

۳—۵ تابع آستانه ای . . . . . ۸۳

۳—۶ تابع قطعه‌ای خطی . . . . . ۸۴

۳—۷ تابع سیگموئید . . . . . ۸۵

۳—۸ گراف جریان سیگنال یک نرون . . . . . ۸۸

۳–۹ گراف جریان سیگنال ساده شده برای یک نرون . . . . . ۸۹

۳–۱۰ شبکه پیش خور یک لایه . . . . . ۹۱

۳–۱۱ شبکه پیش خور چند لایه . . . . . ۹۲

۳–۱۲ شبکه بازگشتی . . . . . ۹۲

۳–۱۳ نمایش مینیمم محلی و مطلق در روند آموزش و یادگیری شبکه . . . . . ۹۹

۳–۱۴ شمایی از فضای حالت و سطوح هم تراز یک تابع انرژی . . . . . ۱۰۱

۳–۱۵ توپولوژی یک شبکه هاپفیلد با چهار سلول . . . . . ۱۰۲

۵–۱ گراف متناظر ماتریس $X_1$ . . . . . ۱۲۴

۵–۲ گراف متناظر ماتریس $X_2$ . . . . . ۱۲۵

۵–۳ طرح اصلی حافظه . . . . . ۱۲۹

۵–۴ حالت های پایدار شبکه . . . . . ۱۳۰

۵–۵ تبدیل الگوی ناقص به یکی از حالت های پایدار شبکه . . . . . ۱۳۱

۵–۶ شبک عصبی بازگشتی وانگ . . . . . ۱۳۲

فصل ۱

# مقدمه

## ۱–۱ پیدایش و توسعهٔ تحقیق در عملیات

در جهان رقابتی امروز، بقای یک سازمان به تصمیمات مدیرانش وابسته است. این تصمیمات نوع و مقدار منابع سازمان را تعیین می کند. تصمیمات درست مدیران موجب رونق و رشد یک مؤسسه، و تصمیمات غلط منجر به از دست دادن بازار و نهایتاً فروپاشی می شود. در جهان امروز ارزش یک مدیر بطور عمده بر اساس کیفیت تصمیماتش سنجیده می شود. بنابراین مدیران باید با دانش هایی که آنان را در تصمیم گیری بهتر یاری می کند آشنا شوند. تحقیق در عملیات[۱] یکی از این دانش ها ست.

اولین استفادهٔ سازمان یافته از تحقیق در عملیات در جنگ جهانی دوم در سال ۱۹۴۱ در انگلستان بود. دانشمندان انگلیسی «رادار» را اختراع کردند، امّا ارتش با استفادهٔ بهینه از این وسیله جدید آشنا

---

[۱] Operation Research

نبود. بدین منظور با گردهم آیی جمعی از دانشمندان و به کارگیری تکنیک های موثر ریاضی، داده های عملیاتی را تحلیل کردند و پشنهادهایی در این مورد ارائه شد که توان دفاعی انگلستان را تا حدود ده برابر افزایش داد. موفقیت این گروه انگیزهٔ استفاده از گروه های مشابه را در بررسی مسائل مختلف نظامی بیشتر کرد.

موفقیت گروه های تحقیق در عملیات موجب گسترش این گروه ها گردید. شاید یکی از معروفترین آنها، گروهی بود که تحت سرپرستی فیزیکدانی به نام بلاکت [۲] تشکیل شد. این گروه شامل سه فیزیولوژیست، دو ریاضی دان، یک متخصص فیزیک نجومی و یک فیزیک دان عمومی بود. این تیم متشکل از متخصصان علوم مختلف، در پیروزی جنگ های انگلستان، به خصوص پیروزی جنگ دریایی اتلانتیک شمالی تأثیر زیادی داشت. تأثیرات مثبت این گروه موجب شد گروه های مشابهی در ارتش آمریکا ایجاد شود. این ارتش در طول جنگ جهانی دوم، گروه هایی از ریاضی دانان و متخصصان آمار و کامپیوتر را برای تحلیل عملیات گرد آورد. در این دوره جان ون نیومن [۳] در زمینهٔ تئوری بازی ها و جرج دانتزیگ [۴] به تحقیق در زمینهٔ روش سیمپلکس در برنامه ریزی خطی اشتغال داشتند.

بسیاری از ایده های تحقیق در عملیات ماهیتاً بر محورهای نظامی استوار بود و مدیران غیر نظامی علاقهٔ چندانی به تکنیک هایی که مربوط به مسائل آنها نبود، نداشتند. دو واقعه موجب ورود تحقیق در عملیات به صنایع غیر نظامی شد. درسال ۱۹۴۷ دانتزیگ برنامه ریزی خطی و روش سیمپلکس را ابداع کرد. این روش توانایی و کاربرد قابل ملاحظه ای در مسائل بازرگانی داشت. دومین و مهمترین عامل، تولید کامپیوترهای الکترونیکی با سرعت بالا بود. اکثر تکنیک های تحقیق در عملیات برای جواب گویی به مسائل واقعی جهان، نیازمند محاسبات زیادی است. کامپیوتر می توانست در این راستا نقشی اساسی ایفا کند و مانعی را که در به کارگیری این تکنیک ها وجود داشت از بین ببرد.

---

[۲] Blacket

[۳] John Von Newman

[۴] Georg Dantzig

تاثیر تحقیق در عملیات را می توان در بسیاری از زمینه ها مشاهده کرد. امروزه ارگان های خدماتی، مانند بانک ها، بیمارستان ها، کتابخانه ها، دستگاه های مرتبط با حمل و نقل و طراحی شهری تشخیص داده اند که تحقیق در عملیات می تواند کمک شایانی در انجام خدمات به آنها بنماید [۵۳].

## ۱–۲ بهینه سازی ترکیباتی

در خلال سال های متمادی تلاش زیادی در زمینهٔ نظریه بهینه سازی ترکیباتی[۵] ($COP$) انجام شده است. در این نظریه الگوریتم های تقریبی که اغلب الگوریتم های ابتکاری نامیده می شوند، بخش مهمی از تحقیق و کاربرد را به خود تخصیص داده‌اند. بسیاری از مسایل عملی که دارای مجموعه جواب های متناهی یا نامتناهی شمارا هستند را می توان به صورت مسایل بهینه سازی ترکیباتی فرمول بندی کرد. لاولر[۶] در سال ۱۹۷۶ بهینه سازی ترکیباتی را چنین تعریف می کند:

«بهینه سازی ترکیباتی عبارت است از مطالعه و بررسی برای پیدا کردن یک ترکیب، گروه بندی، ترتیبی بهینه و یا انتخاب عناصر گسسته به صورت ریاضی، که معمولاً در این نوع مسایل تعداد جواب ها متناهی می باشد.»

یک مساله بهینه سازی ترکیباتی را می توان بوسیلهٔ یک مجموعه از اجزاء مشخص کرد. هر مساله دارای یک فضای جواب $\Omega$، یک فضای شدنی $X$، که $X \subseteq \Omega$ که بوسیله قیود مساله تعریف می شود، یک ناحیه نشدنی، $\Omega \setminus X$، و یک تابع هدف $C$ (که به هر جواب $S \subseteq \Omega$ یک مقدار هزینهٔ حقیقی می دهد، یعنی $C : \Omega \to R$) می باشد. عموماً یک مساله بهینه سازی ترکیباتی به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$\begin{aligned} &\text{P:} \quad \text{Maximize(Minimize)} \quad \text{C(S)} \\ &\text{s.t.} \qquad\qquad \text{S} \subseteq X \subseteq \Omega \qquad\qquad (۱-۱) \end{aligned}$$

مجموعه های $X$ و $\Omega$ را می توان بوسیلهٔ یک مجموعه از متغیرهای تصمیم تعریف کرد. این متغیر ها می توانند بسته به نقش آنها در فرمول بندی مساله، مقادیر صحیح و غیر صحیح مختلف را اختیار کنند. معمولاً مقادیر این متغیرها صریحاً تعیین نمی شود بلکه در داخل بازه هایی مشخص تعریف می شوند. در یک مساله بهینه سازی کمینه، هدف پیدا کردن یک جواب شدنی بهینه $S^* \in X$

[۵] Combinatoral Optimization

[۶] Lowler