دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده ریاضی

پایان نامه کارشناسی ارشد
در رشته ریاضی گرایش تحقیق در عملیات

مکان‌یابی و حفاظت از سایت‌های ذخیره‌ی حیاتی به منظور کمینه کردن تلفات تنوع زیستی

نگارش:
ساره رستاخیز

استاد راهنما:
دکتر حمید رضا ملکی

استاد مشاور:
دکتر فرامرز حسینی

مهرماه ۱۳۹۳

تقدیم به مهربان فرشتگانی که

لحظات ناب باور بودن، لذت غرور و دانستن،

جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای

زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست

تقدیم به پدر و مادر عزیزم و خواهر مهربانم.

سپاسگزاری

به نام پروردگار یکتا

سپاس آن بی‌همتایی که چون همیشه با الطاف بی‌پایانش در انجام و به پایان رساندن این رساله مرا یاری نمود. او را سپاس می‌گویم که مرا لایق آموختن گردانید.

رهنمودهای بی‌دریغ و ارزنده‌ی اساتید بزرگوارم که هدایت این رساله را بر عهده داشتند مرا بر آن می‌دارد که با این جملات کوتاه و ناکافی سپاسگزاری خود را از این بزرگواران بیان کنم. مراتب امتنان خویش را به استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر ملکی و استاد مشاور عزیزم جناب آقای دکتر حسینی تقدیم می‌دارم که با در اختیار گذاشتن دانسته‌های علمی خود مرا قرین لطف خویش فرمودند. در پایان بر خود لازم می‌دانم از تمامی استادان، دوستان و عزیزانی که در طول این دوره تا به ثمر رسیدن آن مرا یاری و همراهی نمودند سپاسگزاری نمایم.

چکیده

مکان‌یابی و حفاظت از سایت‌های ذخیره‌ی حیاتی به منظور کمینه کردن تلفات تنوع زیستی

نگارش:
ساره رستاخیز

با توجه به تاثیر مستقیم طبیعت بر نیازهای ضروری بشر و تقاضای روزافزون برای استفاده از منابع طبیعی، در این تحقیق بر آنیم که مساله‌ی حفاظت از منابع طبیعی و سایت‌های حساس را مورد بررسی قرار دهیم. در این راستا به معرفی فرآیند نظام‌مند انتخاب حفاظتی خواهیم پرداخت. این فرآیند یک ابزار برای کمک به شناسایی اولویت حفاظت از سایت‌های یک ناحیه می‌باشد به طوری که تلفات گونه‌های موجود در ناحیه و هزینه‌ی حفاظت کمینه گردد. در جهت آغاز این تحقیق، ابتدا به اختصار مسایل مکان‌یابی را معرفی خواهیم کرد. سپس با توجه به انواع مسایل مکان‌یابی، مساله‌ی انتخاب حفاظتی را در قالب مسایل مکان‌یابی مدل‌بندی می کنیم. از آنجا که این مساله NPـ سخت است، برای حل آن از الگوریتم‌های فرا ابتکاری بهینه‌سازی انبوه ذرات و الگوریتم آموزش و یادگیری استفاده می‌کنیم. پس از آن مثال‌هایی از این نوع مساله را با استفاده از حل کننده‌ی $CPLEX$ـ۱۲.۵ در محیط $AIMMS$، در ابعاد کوچک و با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری، در ابعاد بزرگ حل کرده و آنگاه به تحلیل نتایج خواهیم پرداخت. در پایان پیشنهادهایی برای کارهای آتی ارایه خواهیم کرد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل ۱: ادبیات موضوع و اهداف ۱
۱–۱ مقدمه ۲
۱–۲ پیدایش نظریه‌ی مکان‌یابی و مکان‌یابی تدافعی ۳
۱–۳ آشنایی با مفهوم تنوع زیستی و خطرات تهدید کننده‌ی آن ۵
۱–۳–۱ تنوع زیستی ۵
۱–۳–۲ نیاز بشر به تنوع زیستی ۶
۱–۳–۳ بحران تنوع زیستی و خطرات تهدید کننده ۷
۱–۴ انتخاب حفاظتی ۸
۱–۵ اهداف و مروری بر مطالب پایان نامه ۱۰

فصل ۲: پیش‌نیازها و مفاهیم اولیه ۱۳
۲–۱ مقدمه ۱۴
۲–۲ مکان‌یابی ۱۴
۲–۲–۱ مسایل مکان‌یابی گسسته ۱۵
۲–۲–۲ مسایل مکان‌یابی در فضای شبکه ۱۵
۲–۲–۳ مکان‌یابی تسهیلات ۱۶
۲–۲–۴ مساله‌ی مکان‌یابی p– میانه ۱۹
۲–۲–۵ مسایل مکان‌یابی رقابتی ۲۰
۲–۲–۶ مسایل مکان‌یابی پوششی ۲۲
۲–۳ مساله‌ی مکان‌یابی با اهداف چندگانه ۲۷
۲–۴ تصمیم‌گیری چند معیاره ۲۷
۲–۵ نظریه‌ی بازی‌ها ۳۰
۲–۵–۱ تاریخچه‌ی پیدایش و تکامل نظریه‌ی بازی‌ها ۳۱
۲–۶ نقطه‌ی تعادل ۳۲

۲–۷ مساله‌ی برنامه ریزی دوسطحی ۳۳
۲–۸ مساله‌ی میانه‌ی rـ ممانعتی با استحکامات ۳۵
۲–۸–۱ فرمول‌بندی $RIMF$ به عنوان یک مساله‌ی برنامه ریزی دوسطحی . . ۴۰
۲–۹ مساله‌ی مکان‌یابی تدافعی ۴۶

فصل ۳: مدل‌بندی ریاضی مساله‌ی انتخاب حفاظتی ۴۸
۳–۱ مقدمه ۴۹
۳–۲ مدل‌بندی مساله بر اساس روش $MECL$ ۴۹
۳–۳ مدل‌بندی مساله بر اساس روش $MMCL$ ۵۱
۳–۴ مدل‌بندی مساله بر اساس روش $MMECL$ ۵۶

فصل ۴: آشنایی با دو الگوریتم فرا ابتکاری و حل مثال‌های کاربردی ۵۹
۴–۱ مقدمه ۶۰
۴–۲ الگوریتم بهینه سازی ذرات انبوه ۶۱
۴–۲–۱ معرفی اجزای الگوریتم ۶۱
۴–۳ الگوریتم آموزش و یادگیری ۶۴
۴–۴ حل مثال عددی ۶۷

فصل ۵: نتایج و پیشنهادها ۷۶

آ پیوست ۷۹
آ–۱ پیچیدگی محاسباتی الگوریتم‌ها ۸۰
آ–۱–۱ کلاس پیچیدگی NP ۸۱
آ–۲ کد الگوریتم بهینه‌سازی ذرات انبوه ۸۳

مراجع ۸۷

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۹۴

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۴–۱: احتمال نابودی و هزینه‌ی حفاظت از هر سایت در مثال ۱.۴ . . . . . ۷۰
جدول ۴–۲: وزن اختصاص داده شده به هر گونه در مثال ۱.۴ . . . . . ۷۰
جدول ۴–۳: مقادیر بهینه‌ی مثال ۱.۴ . . . . . ۷۱
جدول ۴–۴: مقادیر بهینه‌ی مثال ۱.۴ مربوط به بودجه‌ی ۳۰۰ واحدی ۷۱
جدول ۴–۵: مقادیر بهینه‌ی مثال ۱.۴ مربوط به بودجه‌ی ۸۰۰ واحدی ۷۱
جدول ۴–۶: مقادیر بهینه‌ی مثال ۱.۴ مربوط به بودجه‌ی ۱۳۰۰ واحدی ۷۲
جدول ۴–۷: مقادیر بهینه‌ی مثال ۱.۴ مربوط به بودجه‌ی ۱۸۰۰ واحدی ۷۲
جدول ۴–۸: احتمال نابودی و هزینه‌ی حفاظت از هر سایت در مثال ۲.۴ . . . . . ۷۳
جدول ۴–۹: وزن اختصاص داده شده به هر گونه در مثال ۲.۴ . . . . . ۷۳
جدول ۴–۱۰: بودجه‌ی اختصاص داده شده به هر دوره از حفاظت در مثال ۲.۴ . . ۷۴
جدول ۴–۱۱: نتایج مربوط به ۲۰ بار اجرای هر یک از الگوریتم‌ها در مثال ۲.۴ . . ۷۴
جدول ۴–۱۲: میانگین، انحراف معیار توابع هدف و میانگین زمان اجرای هر یک از
الگوریتم‌ها (بر حسب ثانیه) در جدول ۴–۱۱ . . . . . ۷۵

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۲–۱: ساختار یک سیستم با ۵ تسهیل که به یک مجموعه‌ی ۲۵ نقطه‌ای از تقاضاها خدمات‌رسانی می‌کند. ۴۰
شکل ۲–۲: ساختار یک سیستم با ۵ تسهیل با توجه به بدترین حالت عملیات ممانعتی ۲ سایت. ۴۱
شکل ۲–۳: ساختار یک سیستم با ۵ تسهیل با توجه به مستحکم سازی ۲ سایت پیرو عملیات ممانعتی ۲ سایت. ۴۲
شکل ۲–۴: یک مثال از DLP روی یک شبکه ۴۷

شکل ۴–۱: اساس کار الگوریتم PSO ۶۳
شکل ۴–۲: شبه کد الگوریتم PSO ۶۴

شکل آ–۱: کد الگوریتم بهینه‌سازی ذرات انبوه ۸۳
شکل آ–۲: کد الگوریتم بهینه‌سازی ذرات انبوه ۸۴
شکل آ–۳: کد الگوریتم بهینه‌سازی ذرات انبوه ۸۵
شکل آ–۴: کد الگوریتم بهینه‌سازی ذرات انبوه ۸۶

فصل ۱

ادبیات موضوع و اهداف

۱-۱ مقدمه

حفاظت از ذخایر طبیعی، اقدامی مهم و کلیدی به منظور متوقف کردن تلفات **تنوع زیستی** محسوب می‌شود. در حال حاضر این ایده در سراسر جهان امری پسندیده است. با این وجود، مسئولین همواره با محدودیت منابع مالی و امکانات مورد نیاز برای حفاظت مواجه هستند. در این راستا خطر روزافزون انهدام و بر هم خوردن تعادل در تنوع زیستی بیش از پیش توجه دانشمندان و مسئولین دولتی را به سوی خود جلب کرده است. از یک سو تبدیل زیستگاه‌های متنوع از جمله جنگل‌ها و تالاب‌ها به زمین‌های زراعی یا مسکونی و از سوی دیگر کاهش امکانات حفاظت از این منابع، از جمله‌ی این خطرها هستند. بنابراین هنگامی که منابع طبیعی جدیدی برای حفاظت مشخص می‌شوند، یکی از مهم‌ترین مسایل، استفاده‌ی بسیار مفید و کارآمد از منابع مالی موجود می‌باشد. مشکلات اقتصادی و اجتماعی بیش از سایر موانع بر یک حفاظت جامع از تمام سایت‌های موجود در ناحیه‌ی مورد بررسی اثر می‌گذارند. به همین دلیل مساله‌ی طراحی حفاظت، بر روی انتخاب بخش کوچکی از یک ناحیه به منظور حفاظت متمرکز است. در این راستا، اخیرا تمایل زیادی به تکوین روش‌های نظام‌مند برای اولویت‌بندی و انتخاب سایت‌های حفاظتی دیده می‌شود. با توجه به این مطالب و درک اهمیت **انتخاب حفاظتی**، در ادامه به طرح اولین مسایلی که منجر به پیدایش حوزه‌ی مکان‌یابی تدافعی و انتخاب حفاظتی شده‌اند، می‌پردازیم.

۱-۲ پیدایش نظریه‌ی مکان‌یابی و مکان‌یابی تدافعی

در اوایل قرن هفدهم سوالی بدین مضمون مطرح شد: "سه نقطه در صفحه مفروضند. نقطه‌ی چهارمی پیدا کنید که فاصله‌ی آن از این سه نقطه کمترین مقدار ممکن باشد". این سوال که در حد یک معمای ریاضی بود، توسط پیرد فرما[۱] مطرح شد و دانشمندان زیادی در پی حل و تعمیم آن برآمدند. اگر چه این مساله اولین بار توسط فرما مطرح شد، اما مساله‌ی مکان‌یابی قدمتی بسیار دیرینه دارد و شاید عمری به اندازه‌ی عمر بشر داشته باشد؛ چرا که قرن‌ها قبل، وقتی انسان اولیه، غار زندگی خود را انتخاب می‌کرد، یا حتی بعدها که مکانی را برای ساخت خانه و روستا یا عبادتگاه خود در نظر می‌گرفت؛ در حقیقت، با نوعی روش اکتشافی، یک مساله‌ی مکان‌یابی را حل می‌کرد. مطالعات نظریه‌ی مکان‌یابی به صورت رسمی در سال ۱۹۰۹، توسط وبر[۲] آغاز شد [۷۵]. در مساله‌ی وبر، هدف پیدا کردن مکان یک انبار (نقطه‌ی نامعلوم) است به طوری که هزینه‌ی حمل‌ونقل کالا بین این انبار و مشتری‌ها (نقاط مفروض) کمینه گردد. پس از طرح این موضوع، به دلیل کاربرد کم این نظریه، تا سال ۱۹۶۴ توجه چندانی به مساله‌ی مکان‌یابی نشد. در سال ۱۹۶۴ حکیمی[۳] مساله‌ی مکان‌یابی را به صورت یک شبکه‌ی وزن‌دار مطرح کرد[۳۲]؛ وی در مقاله‌ی خود به دنبال پیدا کردن مکان بهینه برای یک مرکز سویچینگ در شبکه‌ی ارتباطی و یک مکان بهینه، برای ایستگاه پلیس در بزرگراه‌ها بود. از زمان انتشار مقاله‌ی حکیمی تاکنون، محققان بسیاری به این مطلب پرداخته‌اند. از آن پس مدل‌های مکان‌یابی متنوعی توسط بدری[۴] و بسیاری از محققان دیگر معرفی شده است که از آن جمله می‌توان به مدل‌های مکان‌یابی پوششی، مکان‌یابی چند هدفه، مکان‌یابی پویا، مکان‌یابی سلسله مراتبی و نیز مساله‌ی مکان‌یابی رقابتی اشاره کرد.

---

[۱] Piere de fermat

[۲] Weber

[۳] Hakimi

[۴] Badri

در سال ۱۹۶۵، حکیمی در یک مقاله مساله‌ی پوشش کامل را معرفی کرد [۳۳]. وی در این مقاله مساله‌ی یافتن حداقل تعداد پلیس را در یک شبکه‌ی بزرگراه مورد بررسی قرار داد، به طوری که هیچ کس فاصله‌ای بیشتر از یک مقدار مشخص با یک پلیس را نداشته باشد. در ادامه ترگاس[۱] و همکارانش در سال ۱۹۷۱ مساله‌ی پوشش کامل را به عنوان یک مساله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح فرمول‌بندی کردند [۷۲]. آن‌ها مکان‌یابی تسهیلات اضطراری را به عنوان یک مساله‌ی پوشش کامل با ضرایب مساوی در تابع هدف معرفی کردند و سعی بر کمینه کردن تعداد تسهیلات لازم برای پاسخ دادن به همه‌ی تقاضاها یعنی پوشش کامل آن‌ها در یک فاصله‌ی مشخص داشتند. در سال ۱۹۸۱ داسکین[۲] و استرن[۳] [۱۸] مدل مسایل مکان‌یابی پوشش را تعمیم داده و مفهوم پوشش اضافی را معرفی کردند. آن‌ها علاوه بر پوشش اولیه، پوششی اضافی برای نقاط تقاضا در نظر گرفتند. در سال ۱۹۸۶ در ادامه‌ی کار داسکین و استرن، هوگان[۴] و ریول[۵] [۳۹] مفهوم پوشش پشتیبان را به عنوان یک معیار تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی سرویس‌های اورژانس روی یک شبکه مطرح کردند و پوشش پشتیبان را به عنوان دومین پوشش گره‌های تقاضا در نظر گرفتند. در سال ۱۹۹۲ میرچندانی[۶] [۵۳] مساله‌ی پوشش کامل چندگانه را معرفی کرد. در این مدل، هر یک از نقاط تقاضا بر اساس اهمیتی که دارند به تعداد دفعات مشخصی پوشش داده می‌شوند.

در سال ۲۰۰۸ نوع جدیدی از مسایل مکان‌یابی تسهیلات رقابتی، توسط **اونو**[۷] و **کاتاگیری**[۸] معرفی شد که **مساله‌ی مکان‌یابی تدافعی** (DLP[۹]) نامیده می شود [۷۳]. در این مسایل

[۱] Toregas
[۲] Daskin
[۳] Stern
[۴] Hogan
[۵] Revelle
[۶] Mirchandani
[۷] Takeshi Uno
[۸] Hideki Katagiri
[۹] Defensive Location Problem

یک تصمیم گیرنده (مدافع) تسهیلات دفاعی خود را به منظور باز داشتن مهاجم از دستیابی به سایت‌های مهم که هسته نامیده می شوند، مکان‌یابی می‌کند. در سال ۲۰۰۸ **چرچ** [۱] و **اسکاپارا** [۲] مساله‌ی میانه‌ی rـممانعتی با استحکامات ($RIMF$[۳]) را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند[۶۸]. $RIFM$ شامل یک مساله‌ی برنامه ریزی دو سطحی است، که مساله‌ی سطح بالا شامل تصمیمات طراح سیستم یا مدافع، درباره تسهیلاتی است که استحکامات را دریافت می‌کنند. در مساله‌ی سطح پایین، بدترین حالت سناریو تخریب، مدل شده است. در $RIMF$، طراح سیستم به جهت کمینه سازی کاهش کارایی سیستم که به سبب از دست دادن تسهیلات حفاظت نشده ایجاد می‌شود، برخی از تسهیلات را مستحکم سازی می‌کند. در مقابل هدف مهاجم کاهش کارایی سیستم با توجه به عملیات ممانعتی (حملات عمدی علیه سیستم) تسهیلات حفاظت نشده می‌باشد.

تعمیم و کاربرد مسایل و مدل‌های مکان‌یابی همچنان با رشد روزافزونی در حال بررسی است. از مساله‌ی مکان‌یابی به منظور اولویت‌بندی در زمینه‌های کاربردی متفاوتی استفاده می‌شود. به عنوان نمونه، می‌توان از اولویت‌بندی حفاظت از سایت‌ها در مساله‌ی انتخاب حفاظتی، مکان‌یابی تسهیلات و همچنین رقابت‌های انتخاباتی نام برد.

۱–۳ آشنایی با مفهوم تنوع زیستی و خطرات تهدید کننده‌ی آن

۱–۳–۱ تنوع زیستی

تنوع زیستی یک اصطلاح برای توصیف گوناگونی ساختار موجودات زنده‌ای است که بر روی زمین زندگی می‌کنند. این گوناگونی تمامی ترازهای ساختاری از جمله: مولکول، ژن، سلول،

[۱] Church
[۲] Scaparra
[۳] R-Interdiction Median Problem with Fortification

فرد، جمعیت، تا اجتماعات(مجموعه‌ی جمعیت‌های) زیستی را شامل می‌گردد. سارکار[۱] استدلال کرده است که با تفسیر تنوع زیستی در همه‌ی سطوح زیست شناختی، از مولکول تا اجتماعات زیستی، ناگزیر عبارت تنوع زیستی همه‌ی زیست شناسی را در بر می‌گیرد[۶۶].

نخستین بار در سال ۱۹۶۸، واژه‌ی تنوع زیستی بوسیله‌ی ریموند داسمن[۲] در کتاب "نوع دیگری از زندگی" در دفاع از محیط زیست به کار برده شد[۱۹]. پس از آن و به فاصله‌ی یک دهه این واژه بسیار مورد توجه قرار گرفت تا جایی که در دهه‌ی ۱۹۸۰ به کاربردی عادی در علم و سیاست محیطی تبدیل شد.

در سال ۱۹۹۲ همایش **زمین** سازمان ملل [۳۷]، تنوع زیستی را این‌گونه تعریف کرد: "گوناگونی میان واحدهای زنده در همه‌ی منابع، از جمله: منابع زمینی، دریایی، دیگر اکوسیستم‌های وابسته به آب و پیچیدگی‌های اکولوژیکی، که خود شامل تنوع میان گونه‌ها و همچنین میان گونه‌ها و اکوسیستم‌ها می باشد". تعریفی دیگر بر پایه‌ی کتاب‌های درسی این‌گونه است: "تنوع زندگی در همه‌ی سطوح زیست شناختی"[۴۹].

۱-۳-۲ نیاز بشر به تنوع زیستی

فوایدی که بشر از تنوع زیستی دریافت می‌کند، چیزی بیش از تامین مواد خام بوسیله‌ی طبیعت می‌باشد. امنیت غذایی و انرژی انسان و همچنین آسیب‌پذیری وی از خطرات طبیعی مانند آتش‌سوزی و سیل، به شدت وابسته به تنوع زیستی است. تلفات تنوع زیستی، بر روی رفاه و سلامتی تاثیری منفی داشته و به طور وسیعی آزادی انتخاب نوع بشر را محدود می‌کند. بر اساس آماری که توسط **سازمان جهانی حفاظت از طبیعت** ($IUCN$[۳]) اعلام شده است: امروزه بیش از ۷۰۰۰۰ نوع گونه‌ی گیاهی در طب سنتی و مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین ارزش

[۱] Sarkar
[۲] Reymond Dasman
[۳] International Union for Conservation of Nature

خدمات اکوسیستم جهانی بین ۱۶ تا ۶۲ ترلیون دلار برآورد شده است [۴۴].

هر تصمیمی که توسط ما اتخاذ می‌گردد به صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر روی تنوع زیستی و در نتیجه بر روی زندگی خود ما و همچنین اطرافیان موثر خواهد بود. تنوع زیستی نقشی حیاتی در رفاه و سلامتی، ادامه پذیر بودن استفاده‌ی بشر از منابع طبیعی و همچنین کاهش کمبودها ایفا می‌کند. اما انسان‌ها، به ویژه ساکنان مناطق توسعه یافته، از طبیعت دوری گزیده و میزان متکی بودن خود به این نعمت بزرگ را فراموش کرده‌اند. ارزش منابع از دست رفته ناشی از اعمال تغییر در یک اکوسیستم در یک دوره‌ی طولانی، ممکن است بسیار بیشتر از سودی باشد که در یک دوره‌ی کوتاه از همان اکوسیستم دریافت می‌کنیم. معمولا هنگامی که به منظور بهبود خدمات ارایه شده در یک اکوسیستم تغییر ایجاد می‌کنیم، تغییراتی نیز به دیگر اکوسیستم‌ها اعمال می‌گردد؛ به عنوان مثال، اقدام به افزایش محصولات غذایی می‌تواند منجر به کاهش منابع آبی از نظر کمیت یا کیفیت برای دیگر مصرف‌کنندگان گردد. این پدیده می‌تواند بر کیفیت دیگر خدمات مانند شیلات، تامین آب، حفاظت علیه خطرات طبیعی و به طور جدی بر روی سلامتی بشر تاثیرگذار باشد.

۱-۳-۳ بحران تنوع زیستی و خطرات تهدید کننده

نابودی روزافزون منابع طبیعی نشان می‌دهد که تنوع موجود در طبیعت، نمی‌تواند فشار وارد شده از جانب بشر را پاسخگو باشد. نابودی گونه‌های خاص، از بین رفتن زیست‌گاه‌ها، تبدیل مراتع به مزارع کشاورزی و نواحی شهری و ایجاد آلودگی تنها تعداد کمی از خطراتی هستند که باعث بحران‌های امروزی شده‌اند. طبق آمار اعلام شده توسط $IUCN$: از بین ۵۹۵۰۷ گونه‌ی جانوری، ۱۹۲۶۵ گونه در معرض نابودی هستند (یادآوری می‌شود که انقراض در محیط وحش نادیده گرفته شده است). از بین ۵۴۹۴ گونه‌ی پستاندار، ۷۸ نوع منقرض شده‌اند؛ ۱۹۱ گونه به طور جدی در معرض خطر، ۴۴۷ گونه در معرض خطر و ۴۹۶ گونه آسیب‌پذیرند [۴۵].

با این روند و میزان تلفات تنوع زیستی، ما شاهد بحرانی عظیم تر از زمان انقراض دایناسورها از کره‌ی خاکی در ۶۵ میلیون سال قبل هستیم. این بحران بر رفاه و سلامتی بشر به طور جدی تاثیرگذار است. خطرات متعددی تنوع زیستی را تهدید می‌کند که مسبب بسیاری از آنها فعالیت‌های بشری است، به عنوان مثال، برآورد شده است که نابودی زیست‌گاه‌ها، بر روی ۸۶ درصد پرندگان در معرض خطر، ۸۶ درصد پستانداران و ۸۸ درصد دوزیستان در معرض خطر تاثیرگذار است [۴۵]. بهره‌برداری از منابع طبیعی؛ مانند استخراج، شکار، ماهیگیری به منظور تامین غذا، نگهداری حیوانات خانگی و استفاده‌های دارویی نیز از عوامل تاثیرگذار بر کاهش منابع ذخیره می‌باشند. همچنین استفاده‌ی افراطی از کودها که منجر به افزایش سطح نیترات در آب و خاک می‌گردد، عاملی برای بر هم خوردن تعادل تنوع زیستی است.

گاهی این خطرات ناشی از عواملی عمدی می‌باشند؛ به عنوان مثال، کشاورزی می‌تواند به عنوان یک هدف بسیار مناسب و قابل دسترس مورد توجه متجاوزان و تروریست‌ها واقع گردد. کشور عراق در سال ۱۹۸۰ پژوهش‌هایی را برای تهیه‌ی سلاح‌های بیولوژیک از عواملی مانند قارچ‌های تولیدکننده‌ی زنگ ساقه‌ی گندم، سیاهک پنهان گندم و سایر بیماری‌های این گونه‌ی گیاهی آغاز کرد. در گزارش‌های متعددی مزارع گندم ایران به عنوان هدف احتمالی این سلاح‌ها عنوان شده است [۸۱]. از آنجا که شرایط کشور ما همواره در معرض انواع تهدیدهای نظامی و تروریستی از سوی دشمنان بوده و خواهد بود، لذا کسب آمادگی‌های لازم برای شناخت به هنگام و رویارویی موثر با حملات تروریستی احتمالی علیه محصولات کشاورزی در کنار سایر انواع بیوتروریسم باید در دستور کار دستگاه‌های متولی امنیت ملی کشور قرار گیرد.

۱-۴ انتخاب حفاظتی

انتخاب حفاظتی، عبارت است از فرآیند انتخاب تعدادی از سایت‌ها در یک ناحیه‌ی مورد بررسی با در نظر گرفتن یک مجموعه از اهداف و ضرورت‌ها؛ به عنوان مثال در برخی حالات سایت‌ها به

منظور حفاظت از تنوع زیستی و در برخی دیگر به منظور حفاظت مستقیم از یک یا چند گونه‌ی خاص، انتخاب می‌شوند. در یک جمله می‌توان گفت، انتخاب حفاظتی فرآیندی برای کمک به مراقبت از تنوع زیستی در برابر تباهی و بهره‌برداری بیش از حد از زیستگاه‌ها می‌باشد.

اولویت‌بندی سایت‌ها به منظور حفاظت، ابتدا تنها با استفاده از روش‌های تحلیلی ساده و یا نقشه‌برداری در جهت شناسایی کانون‌های بحران (مناطق با اولویت بالا) انجام می‌گرفت. اما از آنجا که در برخی حالات مناطق انتخاب شده، به طور چشمگیری، دارای قابلیت تغییر و تخریب بودند، مساله از سادگی اولیه دور شد. این معضل به تدریج موجب گسترش مدل‌های انتخاب سایت‌های حفاظتی گردید. در سه دهه‌ی گذشته، روش‌های متعددی برای انتخاب حفاظتی سایت‌ها در یک شبکه پیشنهاد شده است؛ از جمله: فرآیند علامت(شماره)گذاری، روش‌های انتخاب قدم به قدم و تکنیک‌های بهینه‌سازی ریاضی [۶۰].

میتر میر[۱] ، مایرس[۲] و رید[۳] در سال ۱۹۹۸ [۵۴] و ابیت[۴] در سال ۲۰۰۰ [۱]، بر روی روش‌های ساده‌ی تحلیلی و همچنین روش نقشه‌برداری برای شناسایی کانون‌های بحران تنوع زیستی کار کردند. کوکز[۵] و بیرد[۶] در سال ۱۹۸۹ اولین کسانی بودند که نشان دادند الگوریتم‌های بهینه‌سازی در مقایسه با روش های تجربی جواب‌های بهتری برای مسایل انتخاب حفاظتی ارایه می‌دهند [۱۳]. کاستلو[۷] و پولاسکی[۸] در سال ۲۰۰۴ به بررسی راهی دیگر از اولویت‌بندی به نام زمان‌بندی انتخاب حفاظتی پرداختند و در این مسیر از برنامه‌ریزی پویای تصادفی (SDP[۹]) کمک گرفتند [۱۵]. البته نقص بزرگ روش آن‌ها این است که تنها می‌تواند مسایل در مقیاس

[۱] Mittermeier
[۲] Myers
[۳] Reid
[۴] Abbitt
[۵] Cocks
[۶] Baird
[۷] Castello
[۸] Polasky
[۹] Stochastic Dynamic Programming

کوچک، با حداکثر ۲۰ کاندید، را بررسی کند [۵۹]. اشنایدر[۱] در سال ۲۰۰۴ روشی بسیار قوی‌تر را برای مشاهده‌ی جواب‌های با کیفیت بهتر در مسایل انتخاب پویا به کار گرفت [۷۰]. وی به منظور حل این مساله فرمول‌بندی پوشش بیشینه را در قالب دو مرحله از برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی (SIP[۲]) مطرح کرد. SIP نیز دارای دو محدودیت مهم می‌باشد: اول، بار محاسباتی زیاد برای حل مسایل حتی نه چندان بزرگ و دوم، چارچوب زمانی کوتاه؛ به عنوان مثال حداکثر یک دوره[۵۹]. در سال ۲۰۰۷ اوهانلی[۳]، چرچ[۴] و گیلس[۵] در مقاله‌ی خود سه مدل ریاضی برای حل مساله‌ی انتخاب حفاظتی ارایه دادند[۵۹] که در ادامه‌ی این پایان نامه با این سه روش بیشتر آشنا خواهیم شد.

۱-۵ اهداف و مروری بر مطالب پایان نامه

طبیعت همواره تامین کننده‌ی نیازهای ضروری بشر برای امرار معاش، رفاه و سلامتی بوده است. در حال حاضر، کمتر ناحیه‌ای را بر روی این کره‌ی خاکی می‌توان یافت که دست نخورده و بکر باقی مانده باشد. علوم اقتصادی، سیاسی، جمعیت شناختی و شیمیایی در هر زیست بوم نفوذ کرده است [۴۹]. تداوم نابودی طبیعت، جنبه‌های خدماتی اکوسیستم را جایی که بشر به آن وابسته است، تهدید می‌کند. به همین دلیل حتی بزرگترین نواحی حفاظت شده نیازمند مدیریت به منظور پیشگیری از تلفات تنوع زیستی هستند. هدف در این تحقیق، مکان‌یابی و حفاظت از سایت‌های حساس به منظور کمینه کردن تلفات تنوع زیستی است.

در اکثر مواقع، داده‌هایی که در دسترس طراحان حفاظتی هستند دارای عدم اطمینان بیشتری نسبت به کاربردهای مرسوم بهینه‌سازی در تجارت و مسایل نظامی است. در این تحقیق سه روش

[۱] Snyder
[۲] Stochastic Integer Programming
[۳] O'Hanley
[۴] Church
[۵] Gilless

جدید مدل‌بندی انتخاب حفاظتی ارایه می‌شود. هدف در هر یک از این سه روش، مکان‌یابی و حفاظت از سایت‌های حساس در ناحیه‌ی مورد بررسی، با در نظر گرفتن بودجه‌ی محدود می‌باشد. موضوع مهم دیگری که در این روش‌ها، مد نظر قرار می‌گیرد این است که میزان تلفات سایت، به عنوان یک فاکتور که دارای عدم اطمینان است، بررسی می‌گردد. در روش اول یک مدل وزن‌دار شده از مساله‌ی پوشش بیشینه به منظور کمینه کردن تلفات مورد انتظار گونه‌ها ($MECL$[۱]) به کار گرفته می‌شود. روش دوم، یک مدل از حالت بودجه- محدودیت را در قالب برنامه‌ریزی دو سطحی به منظور کمینه کردن بیشینه‌ی تلفات گونه‌ها ($MMCL$[۲]) ، ارایه می‌دهد. دو مدل $MECL$ و $MMCL$ با در نظر داشتن هزینه و عدم اطمینان از نابودی سایت، یک رهیافت واحد و یکنواخت را به منظور به تعادل رساندن آسیب‌پذیری منطقه و آسیب‌پذیری گونه‌های مکمل ارایه می‌کنند. سومین مدل، ترکیبی از $MECL$ و مدل‌های چند زمانه می‌باشد. هدف اصلی در این مدل، کمینه کردن تلفات مورد انتظار گونه‌ها در طول چند دوره‌ی زمانی ($MMECL$[۳]) است. از آنجا که تابع هدف در مدل $MMECL$ غیر خطی است، اوهانلی و همکارانش به منظور حل این مدل یک تقریب خطی ارایه دادند [۵۹]. ما در این تحقیق بر آنیم که با استفاده از دو الگوریتم فرا ابتکاری به حل صورت غیر خطی این مدل بپردازیم.

در راستای آشنایی با سه مدل فوق در این فصل مساله‌ی انتخاب حفاظتی و مفهوم تنوع زیستی بیان شد. در فصل دوم، مفاهیم ضروری که برای مدل‌بندی مساله‌ی انتخاب حفاظتی به کار گرفته خواهند شد و آشنایی با آن‌ها برای مطالعه و درک موثر مطالب این تحقیق ضروری خواهند بود (مانند نظریه‌ی بازی‌ها، مکان‌یابی پوششی و مکان‌یابی تدافعی) بیان می‌گردد. در فصل سوم سه مدل ارایه شده توسط اوهانلی و همکارانش را به منظور حل مساله‌ی انتخاب حفاظتی بیان می‌کنیم. در چهارمین فصل ابتدا به توضیح دو روش فرا ابتکاری بهینه‌سازی

[۱] Minimize Expected Coverage Loss
[۲] Minimize Maximum Coverage Loss
[۳] Multiperiod Minimum Expected Coverage Loss

انبوه ذرات و آموزش‌ویادگیری برای حل مدل سوم می‌پردازیم. در ادامه‌ی همان فصل نتایج محاسباتی حاصل از حل یک مثال با استفاده از دو مدل $MECL$ و $MMCL$ با بکارگیری نرم‌افزار $CPLEX$ و همچنین نتایج حاصل از حل مثالی دیگر به منظور بررسی عملکرد دو الگوریتم فرا ابتکاری بر روی مدل $MMECL$ ارایه می‌شود. در انتها چند راهکار برای توسعه‌ی مدل و روش‌های حل این مساله، در فصل پنجم، پیشنهاد می‌گردد.