بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده عمران

مهندسی عمران – آب

رساله دکترا

بهینه سازی هیدرو سیستمها با استفاده از الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)

امید بزرگ حداد

استاد راهنما: دکتر عباس افشار

استاد مشاور: دکتر محمد هادی افشار

تابستان ۱۳۸۴

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم به پاس جبران گوشه ای از

فداکاریها، زحمات و راهنمائیهای بی دریغشان.

چکیـــده پـــایـــان نـــامـــه:

افزایش روزافزون ابعاد و پیچیدگیهای موجود در مسائل بهینه سازی مهندسی و خصوصا در حـوزه مـدیریت منـابع آب، سبب کاهش کارآئی روشهای معمول و احساس نیاز به روشـهای نـوین جـستجو و الگوریتمهـای جدیـد بهینـه سـازی گردیده است. به همین دلیل در دهه های اخیر، روشهای تکاملی و فراکاوشی به عنوان یک ابزار جستجو و بهینه سـازی در بسیاری از حوزه ها، بطور عام و حوزه مهندسی به طور خاص توسعه یافته و مورد استفاده قـرار گرفتـه انـد. وسـعت دامنه کاربرد، سهولت استفاده و قابلیت دستیابی به جواب نزدیک به بهینه مطلق از جمله دلائل موفقیت این روشها می باشد. الگو برداری از رفتار موجودات زنده مانند قورباغه و خفاش به طور عام و حشرات اجتماعی مانند مورچه و زنبور به طور خاص و شبیه سازی این رفتارها در جهت تهیه الگوریتمها و استفاده از این الگوریتمها برای جستجو و حل مسائل، از زمینه های مورد توجه در توسعه الگوریتمهای جدید بوده است. جفت گیری زنبورهای عسل نیز می تواند بـه عنـوان یک روش عمومی بر پایه رفتار حشرات جهت بهینه سازی در نظر گرفته شود. این الگوریتم الهام گرفته از فرآیند جفت گیری زنبورهای عسل واقعی می باشد. در این مطالعه، الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO) بـه عنوان یک مدل تکاملی و فراکاوشی جهت کاربرد در الگوریتمهای بهینه سازی، توسـعه یافتـه اسـت. در ادامـه کـارآئی الگوریتم در حل برخی مسائل شناخته شده ریاضی، با انواع پیچیدگیهای موجـود در حـل مـسائل بهینـه سـازی مـورد بررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب تصویر روشن و امیدوار کننده ای از نحوه عملکرد الگوریتم در حل مسائل مختلف حاصل شده است. کاربرد الگوریتم مذکور در مسائل بهره برداری بهینه از سیستمهای تـک و چنـد مخزنـه و بـا اهـداف کشاورزی و برقابی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل گویای قابلیت الگوریتم در حل انواع مسائل مهندسی بـه طور عام و به خصوص در حوزه مدیریت منابع آب می باشد. عدم توفیق برنامه هـای بهینـه سـازی بـر پایـه گرادیـان و موفقیت الگوریتم پیشنهادی در حل یکی از مسائل پیچیده، غیر خطی و غیر محدب حوزه مدیریت منـابع آب (مـسئله طراحی و بهره برداری بهینه از سیستم مخازن برقابی)، نشان از توانائی بالقوه الگوریتم دارد. نتایج بدسـت آمـده بیـانگر این مطلب است که با وجود اینکه الگوریتم حاضر در ابتدای مراحل توسعه است، اما دارای قابلیت بـالائی در حـل انـواع مسائل بهینه سازی خطی/غیر خطی، مقید/نامقید، پیوسته/گسسته، محـدب/غیـر محـدب، بـا قاعـده/بـی قاعـده، قابـل جداسازی/غیر قابل جداسازی و تک قله ای/چند قله ای می باشد.

تقدیر و تشکر:

باسپاس فراوان از استاد عزیز و ارجمندم جناب آقای دکتر عباس افشار که در کمال صبر و حوصله، در طول انجام این پایان نامه با مساعدت و راهنمائیهای مستمر خود اینجانب را در انجام این تحقیق هدایت نمودند.

جناب آقای دکتر محمد هادی افشار استاد مشاور اینجانب نیز همواره راهگشای اینجانب در حل مشکلات و موانع پیش روی اینجانب بوده اند که بدین وسیله از ایشان قدردانی می گردد.

جناب آقایان دکتر سعید علیمحمدی و دکتر محمد رضا جلالی نیز با همکاریها، همفکریها، کمکها و نقطه نظرات سازنده خود نقش مهم و اساسی را در تحقیق حاضر دارا می باشند.

در اینجا جا دارد از هیئت محترم داوران پایان نامه جناب آقایان دکتر محمد باقر منهاج، دکتر احمد ابریشمچی، دکتر عباس قاهری و دکتر سید جمشید موسوی که با حضور مستمر و ارائه پیشنهادات و نظرات موشکافانه خود اینجانب را در انجام و ارائه هر چه بهتر و کاملتر این تحقیق مورد لطف قرار دادند تقدیر و تشکر گردد.

فهرست مطالب:

شماره	عنوان	صفحه
۱	کلیات	۱
۱-۱	مقدمه	۱
۱-۲	اهداف مورد انتظار	۳
۱-۳	دامنه و وسعت کار	۴
۱-۴	روش تحقیق	۶
۱-۵	ساختار رساله	۸
۲	الگوریتمهای فراکاوشی	۱۰
۲-۱	مقدمه	۱۰
۲-۲	الگوریتمهای فراکاوشی	۱۰
۲-۳	تقسیم بندی الگوریتمهای فراکاوشی	۱۱
۲-۳-۱	روشهای خط سیر	۱۲
۲-۳-۱-۱	جستجوی موضعی تکراری (ILS)	۱۳
۲-۳-۱-۲	نورد شبیه سازی شده (SA)	۱۳
۲-۳-۱-۳	جستجوی ممنوعه (TS)	۱۵
۲-۳-۱-۴	روشهای جستجوی موضعی اکتشافی (ELS)	۱۶
۲-۳-۲	روشهای جمعیتی	۱۷
۲-۳-۲-۱	محاسبات تکاملی	۱۸
۲-۴	الگوریتم ژنتیک (GA)	۲۰
۲-۴-۱	مقدمه	۲۰
۲-۴-۲	ساختار عمومی الگوریتمهای ژنتیک	۲۱
۲-۴-۳	اکتشاف و استخراج	۲۴
۲-۵	الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها (ACO)	۲۴
۲-۶	الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۲۵

۳	الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۲۶
۱-۳	تاریخچه زنبور عسل	۲۶
۲-۳	سازمان اجتماعی توده زنبورها در کندو	۲۷
۳-۳	زندگی زنبور عسل	۲۸
۱-۳-۳	زندگی زنبور عسل در داخل کندو	۲۹
۱-۱-۳-۳	از تخم تا زنبور کامل	۲۹
۲-۱-۳-۳	از زنبور کامل تا زنبور قادر به پرواز	۲۹
۲-۳-۳	زندگی زنبور عسل در خارج از کندو	۳۰
۴-۳	فعالیت و رفتار توده زنبور های عسل بصورت یک ارگانیسم	۳۰
۵-۳	مدت زندگی زنبورها	۳۱
۶-۳	جفت گیری و تولید مثل	۳۲
۱-۶-۳	جفت گیری ملکه	۳۳
۲-۶-۳	تخم گذاری ملکه	۳۴
۳-۶-۳	تولید ملکه در جمعیت	۳۵
۴-۶-۳	چگونگی تولید ملکه، زنبور کارگر و زنبور نر	۳۶
۷-۳	نر کشی	۳۸
۸-۳	نگاشت مسائل بهینه سازی به الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۳۹
۹-۳	مدل سازی الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۴۰
۴	توسعه الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۴۶
۱-۴	مقدمه	۴۶
۲-۴	فرآیند انتخاب جواب (انتخاب زنبورهای نر توسط ملکه)	۴۶
۱-۲-۴	انتخاب	۴۷
۲-۲-۴	فضای نمونه گیری	۴۷
۱-۲-۲-۴	فضای نمونه گیری معمول	۴۷
۲-۲-۲-۴	فضای نمونه گیری گسترش یافته	۴۸

۳-۲-۴	مکانیسم نمونه گیری	۴۹
۱-۳-۲-۴	نمونه گیری تصادفی	۴۹
۲-۳-۲-۴	نمونه گیری قطعی	۵۰
۳-۳-۲-۴	نمونه گیری ترکیبی	۵۱
۴-۲-۴	احتمال انتخاب	۵۲
۱-۴-۲-۴	پنجره سازی	۵۳
۲-۴-۲-۴	نرمال سازی	۵۳
۳-۴-۲-۴	انتخاب Boltzman	۵۴
۵-۲-۴	رتبه بندی	۵۴
۶-۲-۴	تابع مورد استفاده در الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۵۵
۳-۴	فرآیند باز تولید جواب (تولید بچه زنبورها توسط ملکه و تولید زنبورهای نر)	۵۷
۱-۳-۴	مقدمه	۵۷
۲-۳-۴	عملگرهای معمول	۵۷
۱-۲-۳-۴	جابجائی ساده	۵۷
۲-۲-۳-۴	جابجائی تصادفی	۵۸
۳-۳-۴	عملگرهای ریاضی	۵۸
۴-۳-۴	عملگر های بر پایه جهت	۵۹
۵-۳-۴	عملگرهای مورد استفاده در الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۵۹
۱-۵-۳-۴	تولید بچه زنبورها توسط ملکه	۵۹
۲-۵-۳-۴	تولید زنبورهای نر	۶۰
۴-۴	فرآیند ارتقاء جواب (تغذیه ملکه و بچه زنبورها توسط زنبورهای کارگر)	۶۰
۱-۴-۴	عملگرهای معمول	۶۰
۲-۴-۴	عملگرهای ریاضی	۶۱
۳-۴-۴	عملگرهای بر پایه جهت	۶۱
۴-۴-۴	عملگرهای مورد استفاده در الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۶۲

۴-۵	نحوه برخورد با جوابهای ناشدنی در مسائل بهینه سازی مقید	۶۳
۴-۵-۱	راهکار حذف	۶۳
۴-۵-۲	راهکار ترمیم	۶۴
۴-۵-۳	راهکار عملگر ژنتیک اصلاح شونده	۶۴
۴-۵-۴	راهکار جریمه	۶۴
۴-۴-۵-۱	تابع تکاملی با عبارت جریمه	۶۵
۴-۴-۵-۲	طبقه بندی توابع جریمه	۶۶
۴-۵-۵	نحوه برخورد با جوابهای ناشدنی در الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۷۱
۴-۶	الگوریتم توسعه یافته بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل	۷۲
۵	کاربرد الگوریتم توسعه یافته در حل برخی مسائل شناخته شده پیچیده ریاضی	۷۵
۵-۱	مقدمه	۷۵
۵-۲	تابع سینوسی نامقید	۷۵
۵-۳	تابع اکلی (Ackley)	۸۳
۵-۴	تابع توانی مقید	۸۹
۵-۵	تابع Fletcher-Powell	۹۵
۵-۷	جمع بندی و نتیجه گیری	۱۰۰
۶	کاربرد الگوریتم توسعه یافته در بهینه سازی هیدروسیستمها	۱۰۱
۶-۱	مقدمه	۱۰۱
۶-۲	بهره برداری مخزن	۱۰۱
۶-۳	طراحی و بهره برداری بهینه از سیستم تک مخزنه	۱۰۳
۶-۳-۱	بهره برداری بهینه میان مدت از سد با هدف کشاورزی و با گسسته سازی متغیر های تصمیم	۱۰۶
۶-۳-۲	بهره برداری بهینه بلند مدت از سد با هدف کشاورزی و با متغیر های تصمیم پیوسته	۱۰۸
۶-۳-۳	بهره برداری بهینه بلند مدت از سد با هدف برقابی و با متغیر های تصمیم پیوسته	۱۱۴
۶-۳-۴	طراحی و بهره برداری بهینه از سد با هدف برقابی و با متغیر های تصمیم پیوسته	۱۲۱
۶-۴	طراحی و بهره برداری بهینه از سیستم مخازن چند گانه	۱۲۷

۱-۴-۶	بهره برداری بهینه از مخازن چهارگانه با اهداف خطی و با متغیرهای تصمیم گسسته	۱۲۸
۲-۴-۶	بهره برداری بهینه از مخازن چهارگانه با اهداف خطی و با متغیرهای تصمیم پیوسته	۱۳۲
۳-۴-۶	بهره برداری بهینه از مخازن ده گانه با اهداف خطی و با متغیرهای تصمیم پیوسته	۱۳۶
۴-۴-۶	طراحی و بهره برداری بهینه از مخازن پنج گانه با هدف برقابی و با متغیرهای تصمیم پیوسته	۱۴۰
۵-۶	جمع بندی و نتیجه گیری	۱۴۶
۷	جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۴۹
۱-۷	مقدمه	۱۴۹
۲-۷	نتیجه گیری	۱۵۰
۳-۷	ارائه پیشنهادات	۱۵۲
۳-۷	مراجع، منابع و مآخذ مورد استفاده	۱۵۵

فهرست جداول:

شماره	عنوان	صفحه
۱-۲	شباهت بین فرایند فیزیکی نورد و روش بهینه سازی نورد شبیه سازی شده	۱۴
۲-۲	شباهت بین فرایند طبیعی و روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک	۲۲
۱-۳	شباهت بین فرایند ها و اجزاء طبیعی در زندگی زنبورهای عسل و در الگوریتم بهینه سازی	۳۹
۱-۵	مقادیر تابع هدف و دو متغیر تصمیم در ۱۰ بار اجرا و در پایان ۸۰۰ پرواز جفت گیری	۷۹
۲-۵	پارامترهای آماری تابع هدف و دو متغیر تصمیم در ۱۰ بار اجرا و در پایان ۸۰۰ پرواز جفت گیری	۸۰
۳-۵	مقادیر تابع هدف و دو متغیر تصمیم در ۱۰ بار اجرا و در پایان ۸۰۰ پرواز جفت گیری	۸۷
۴-۵	پارامترهای آماری تابع هدف و دو متغیر تصمیم در ۱۰ بار اجرا و در پایان ۸۰۰ پرواز جفت گیری	۸۷
۵-۵	مقادیر تابع هدف و دو متغیر تصمیم در ۱۰ بار اجرا و در پایان ۸۰۰ پرواز جفت گیری	۹۳
۶-۵	پارامترهای آماری تابع هدف و دو متغیر تصمیم در ۱۰ بار اجرا و در پایان ۸۰۰ پرواز جفت گیری	۹۳
۷-۵	مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۲۰۰۰۰ پرواز جفت گیری	۹۹
۸-۵	پارامترهای آماری تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۲۰۰۰۰ پرواز جفت گیری	۹۹
۱-۶	آبدهی و پارامترهای آماری آن در محل سد	۱۰۴
۲-۶	مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۵۰ پرواز جفت گیری	۱۰۷
۳-۶	پارامترهای آماری تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۵۰ پرواز جفت گیری	۱۰۷
۴-۶	مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۳۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۱۱
۵-۶	پارامترهای آماری تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۳۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۱۱
۶-۶	مقادیر تابع هدف، مشخصات طراحی سد و نیروگاه و پارامترهای تامین انرژی در ۱۰ اجرای مختلف	۱۱۴
۷-۶	مقادیر متغیر های تصمیم حاصل از حل مدل به هر دو روش LP و HBMO	۱۱۸
۸-۶	مقادیر تابع هدف، مشخصات طراحی سد و نیروگاه و پارامترهای تامین انرژی در ۱۰ اجرای مختلف	۱۲۵
۹-۶	پارامترهای آماری نتایج حاصل در ۱۰ اجرای مختلف	۱۲۵
۱۰-۶	مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۱۰۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۱
۱۱-۶	پارامترهای آماری تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۱۰۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۱
۱۲-۶	مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۵

۱۳۵	پارامترهای آماری تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۶-۱۳
۱۳۹	مقادیر نهائی تابع هدف در پایان ۵۰۰۰ پرواز جفت گیری برای ۱۰ اجرا	۶-۱۴
۱۴۰	پارامترهای آماری تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۶۰۰۰ پرواز جفت گیری	۶-۱۵
۱۴۴	مقادیر تابع هدف، مشخصات طراحی سد و نیروگاه هر یک از مخازن	۶-۱۶

فهرست شکلها:

شماره	عنوان	صفحه
۱-۳	نحوه تغییرات احتمال انتخاب زنبورهای نر بر حسب تغییرات اختلاف مقدار تابع نکوئی	۴۱
۲-۳	نحوه تغییرات احتمال انتخاب زنبورهای نر بر حسب تغییرات سرعت	۴۱
۳-۳	الگوریتم HBMO [Abbass, 2001]	۴۲
۱-۴	انتخاب بر اساس یک فضای نمونه گیری عادی [Michlaewicz, 1994]	۴۸
۲-۴	انتخاب بر اساس یک فضای نمونه گیری گسترش یافته [Hoffmeister, 1991]	۴۹
۳-۴	فلوچارت الگوریتم توسعه یافته بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)	۷۴
۱-۵	شکل رویه تابع سینوسی نا مقید	۷۶
۲-۵	تغییرات مقدار تابع هدف در طول انجام پروازهای جفت گیری	۷۷
۳-۵	تغییرات مقدار تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۷۷
۴-۵	تغییرات تعداد دفعات ارزیابی تابع بر حسب تعداد دفعات انجام پرواز جفت گیری	۷۸
۵-۵	تعداد تجمعی موفقیت توابع در طول پروازهای جفت گیری	۷۹
۶-۵	بیشترین، متوسط و کمترین مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در طول پروازهای جفتگیری	۸۰
۷-۵	نحوه تغییرات متغیر X_1 در طول اجرای برنامه	۸۱
۸-۵	نحوه تغییرات متغیر X_1 در طول اجرای برنامه	۸۱
۹-۵	نحوه تغییرات متغیر X_2 در طول اجرای برنامه	۸۱
۱۰-۵	نحوه تغییرات متغیر X_2 در طول اجرای برنامه	۸۲
۱۱-۵	نحوه تغییرات تابع هدف به ازای تغییرات تعداد دفعات ارزیابی تابع برای احجام مختلف محفظه اسپرم	۸۲
۱۲-۵	شکل رویه تابع Ackley در محدوده ۳۰- تا ۳۰	۸۳
۱۳-۵	شکل رویه تابع Ackley در محدوده ۶- تا ۶	۸۴
۱۴-۵	شکل رویه تابع Ackley در محدوده ۲- تا ۲	۸۴
۱۵-۵	تغییرات مقدار تابع هدف در طول انجام پروازهای جفت گیری	۸۵
۱۶-۵	تغییرات مقدار تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۸۵
۱۷-۵	تغییرات تعداد دفعات ارزیابی تابع بر حسب تعداد دفعات انجام پرواز جفت گیری	۸۶

۱۸-۵	تعداد تجمعی موفقیت توابع در طول پروازهای جفت گیری	۸۶
۱۹-۵	بیشترین، متوسط و کمترین مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در طول پروازهای جفتگیری	۸۸
۲۰-۵	نحوه تغییرات متغیر X_1 در طول اجرای برنامه	۸۸
۲۱-۵	نحوه تغییرات متغیر X_2 در طول اجرای برنامه	۸۹
۲۲-۵	شکل رویه تابع توانی مقید	۹۰
۲۳-۵	شکل رویه قید $g_1(x)$	۹۰
۲۴-۵	شکل رویه قید $g_2(x)$	۹۰
۲۵-۵	تغییرات مقدار تابع هدف در طول انجام پروازهای جفت گیری	۹۱
۲۶-۵	تغییرات مقدار تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۹۲
۲۷-۵	تغییرات تعداد دفعات ارزیابی تابع بر حسب تعداد دفعات انجام پرواز جفت گیری	۹۲
۲۸-۵	تعداد تجمعی موفقیت توابع در طول پروازهای جفت گیری	۹۲
۲۹-۵	بیشترین، متوسط و کمترین مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در طول پروازهای جفتگیری	۹۴
۳۰-۵	شکل رویه تابع Fletcher-Powell دو بعدی در محدوده ۶- تا ۶	۹۴
۳۱-۵	نحوه تغییرات متغیر X_1 در طول اجرای برنامه	۹۵
۳۲-۵	نحوه تغییرات متغیر X_2 در طول اجرای برنامه	۹۶
۳۳-۵	شکل رویه تابع Fletcher-Powell دو بعدی در محدوده ۱/۵- تا ۱/۵	۹۶
۳۴-۵	تغییرات مقدار تابع هدف در طول انجام پروازهای جفت گیری	۹۷
۳۵-۵	تغییرات مقدار تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۹۷
۳۶-۵	تغییرات تعداد دفعات ارزیابی تابع بر حسب تعداد دفعات انجام پرواز جفت گیری	۹۸
۳۷-۵	تعداد تجمعی موفقیت توابع در طول پروازهای جفت گیری	۹۸
۳۸-۵	بیشترین، متوسط و کمترین مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در طول پروازهای جفتگیری	۹۹
۱-۶	جریان ماهانه ورودی به مخزن و نیاز متوسط ماهانه	۱۰۵
۲-۶	میزان متوسط افت خالص ماهانه (تبخیر منهای بارش)	۱۰۵
۳-۶	نحوه تغییرات تابع هدف در طول انجام پروازهای جفت گیری در بهترین ۱۰ اجرا	۱۰۷
۴-۶	تغییرات حجم مخزن در هر پریود زمانی	۱۰۸

۵-۶	تغییرات میزان رهاسازی از مخزن در هر پریود زمانی	۱۰۸
۶-۶	تغییرات تابع هدف بر حسب شماره پرواز جفت گیری	۱۰۹
۷-۶	مقدار رهاسازی ماهانه حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۱۰
۸-۶	مقدار حجم مخزن ماهانه حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۱۰
۹-۶	بیشترین، متوسط و کمترین مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در طول پروازهای جفتگیری	۱۱۱
۱۰-۶	متوسط مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در حالات مختلف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۱۱۲
۱۱-۶	تغییرات تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۱۱۳
۱۲-۶	تغییرات تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۱۱۴
۱۳-۶	مقدار رهاسازی ماهانه حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۱۷
۱۴-۶	حجم مخزن ماهانه حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۱۷
۱۵-۶	ارتفاع آب ماهانه در مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۱۷
۱۶-۶	توان تولیدی ماهانه حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۱۸
۱۷-۶	تغییرات تابع هدف بر حسب شماره پرواز جفت گیری	۱۱۹
۱۸-۶	تغییرات تابع هدف بر حسب شماره پرواز جفت گیری	۱۱۹
۱۹-۶	تغییرات تابع هدف بر حسب شماره پرواز جفت گیری	۱۲۱
۲۰-۶	شمای کلی منطقه مورد مطالعه در ایران	۱۲۲
۲۱-۶	شمای کلی محدوده طرح	۱۲۲
۲۲-۶	تغییرات هزینه سد بر حسب تغییرات ارتفاع سد	۱۲۴
۲۳-۶	بیشترین، متوسط و کمترین مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در طول پروازهای جفتگیری	۱۲۶
۲۴-۶	مقدار رهاسازی ماهانه حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۲۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۲۶
۲۵-۶	حجم مخزن ماهانه حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۲۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۲۷
۲۶-۶	توان تولیدی ماهانه حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۲۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۲۷
۲۷-۶	شکل کلی نحوه ارتباط مخازن ۴ گانه	۱۲۸
۲۸-۶	مقدار رهاسازی ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۲
۲۹-۶	حجم ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۲

۶-۳۰	تغییرات مقدار تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۱۳۳
۶-۳۱	تغییرات تعداد دفعات ارزیابی تابع بر حسب تعداد دفعات انجام پرواز جفت گیری	۱۳۴
۶-۳۲	مقدار رهاسازی ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۴
۶-۳۳	حجم ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۵
۶-۳۴	بیشترین، متوسط و کمترین مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در طول پروازهای جفتگیری	۱۳۶
۶-۳۵	شکل کلی نحوه ارتباط مخازن ۱۰ گانه	۱۳۶
۶-۳۶	تغییرات مقدار تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۱۳۸
۶-۳۷	تغییرات تعداد دفعات ارزیابی تابع بر حسب تعداد دفعات انجام پرواز جفت گیری	۱۳۸
۶-۳۸	رهاسازی ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۹
۶-۳۹	حجم ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۶۵۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۳۹
۶-۴۰	بیشترین، متوسط و کمترین مقدار تابع هدف ۱۰ اجرا در طول پروازهای جفتگیری	۱۴۰
۶-۴۱	شکل کلی نحوه ارتباط مخازن ۵ گانه	۱۴۱
۶-۴۲	تغییرات مقدار تابع هدف بر حسب تعداد دفعات ارزیابی تابع	۱۴۴
۶-۴۳	تغییرات تعداد دفعات ارزیابی تابع بر حسب تعداد دفعات انجام پرواز جفت گیری	۱۴۵
۶-۴۴	رهاسازی ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۴۰۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۴۵
۶-۴۵	حجم ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۴۰۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۴۶
۶-۴۶	توان تولیدی ماهانه هر مخزن حاصل از الگوریتم HBMO پس از ۴۰۰۰۰ پرواز جفت گیری	۱۴۶

۱) کلیات

۱-۱- مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت زمین و کاهش کمی و کیفی منابع طبیعی که ناشی از استفاده بی رویه از این منابع می باشد از جمله مسائل هشداردهنده ای است که سیاستمداران، برنامه ریزان و متخصصین را به چاره اندیشی جهت استفاده بهینه از این منابع سوق می دهد. از جمله این ذخایر، منابع آب موجود در جهان است که شاید مهمترین آنها نیز باشد. توسعه جمعیت باعث افزایش تقاضا برای این مایه حیات شده است. از سوی دیگر حال آنکه توسعه بی رویه صنعت نیز باعث آلودگی منابع آب می شود. محدودیتهای کمی و کیفی حاصله و عدم توزیع یکنواخت منابع محدود موجود سبب می گردند که مقدار آب مطلوب در دسترس کاهش یافته و هر روز بر جوامعی که به مرز تنش آبی نزدیک می شوند افزایش یابد. لذا چاره اندیشی در مورد توسعه، بهره برداری و مصرف بهینه و مناسب از این منابع محدود آبی از جمله موارد مورد بحث چند دهه گذشته بوده است. افزایش نیاز روزافزون به آب با کمیت و کیفیت مطلوب و توزیع زمانی و مکانی مناسب، مهندسین و برنامه ریزان را وادار به تفکر و ارایه طرحهای جامع تر و پیشرفته تر برای توسعه و بهره برداری از سیستمهای منابع آب نموده است. با رعایت موارد فوق است که می توان با کمترین هزینه، و/یا بیشترین منافع از منابع موجود بهره برداری کرد. که این خود ایده ال و آرمانی است که در صورت تحقق می تواند ما را به سمت اهداف مطلوب نزدیکتر نماید. نیل به اهداف فوق نیازمند ابزار و دانشی است که استفاده از این ابزار، قابلیت رسیدن و یا نزدیک شدن به هدف نهائی را میسر می سازد. استفاده از روشهای تحلیل سیستمی و بهینه سازی سیستمها می تواند قسمتی از ابزار مورد نظر را در اختیار قرار دهد.

به دلیل پیچیدگی ها و مشکلات مختلف در حل مسائل بهینه سازی، تلاشهای گسترده ای جهت استفاده از الگوریتمهای تصادفی و تقریبی صورت گرفته است. گرچه این الگوریتمها بهینه مطلق را تضمین نمی نمایند اما عموما می توان به کسب جواب نزدیک به بهینه[1] امیدوار بود.

از جمله روشهای تقریبی مورد بحث در سالهای اخیر می توان به روشهای تکاملی[2] و فراکاوشی[3] اشاره نمود [Blum and Roli, 2003]. این روشها با الهام از طبیعت و با مشارکت مفاهیم متفاوتی از حوزه های مختلف از جمله ژنتیک، بیولوژی، هوش مصنوعی، ریاضی و فیزیک، علوم عصبی و... ابداع شده اند و به عنوان یک ابزار جستجو و بهینه سازی در حوزه مسائل مختلفی مانند علوم، تجارت و مهندسی مورد استفاده قرار گرفته اند [Esat and Hall, 1994; Gen and Cheng, 1997; Wardlaw and Sharif,1999]. وسعت دامنه کاربرد،

[1] Near Optimum
[2] Evolutionary
[3] Metaheuristic

سهولت استفاده و قابلیت دستیابی سریع به جواب نزدیک به بهینه مطلق از جمله دلائل موفقیت این روشها عنوان شده است. به عنوان نمونه می توان به الگوریتمهای نورد شبیه سازی شده[1] (SA)، الگوریتم ژنتیک[2] (GA)و جستجوی ممنوعه[3] (TS)اشاره نمود.

کاربرد موفقیت آمیز الگوریتمهای الهام گرفته از طبیعت، همچون SA ، GA و شبکه های عصبی مصنوعی[4] در مسائل بسیار پیچیده مهندسی آنچنان دلگرم کننده بود که سیستم های طبیعی به عنوان منبع اساسی ایده های مدلسازی و ایجاد سیستمهای مصنوعی مختلف مورد پذیرش و توجه خاص قرار گرفته است. درسالهای اخیر، روشهای مختلف بسیاری جهت عملکرد بهتر، نسبت به سایر روشها، چه در رسیدن به معیارهای مورد نظر و چه در کاهش زمان اجرا توسعه یافته اند [Blum and Roli, 2003].

مطالعه ابعاد مختلف زندگی اجتماعی موجودات زنده چون قورباغه و خفاش، به طور عام، و حشرات اجتماعی چون مورچه و زنبور، به طور خاص، می تواند سر منشاء دست یابی به برخی از مدلها و الگوریتمها جهت جستجو و دست یابی به حل مطلوب مسائل مختلف در حوزه های متفاوت باشد. در بین رفتارهای مختلف حشرات، رفتار جفت گیری و غذا یابی آنها یکی از مهمترین زمینه های ایجاد این گونه سیستمهای مصنوعی بوده است. البته لازم به ذکر است که محققین تنها ایده اصلی را از رفتار حشرات اجتماعی می گیرند و الزامی به رعایت کلیه جوانب رفتاری آنها در مدلسازی وجود ندارد. به این ترتیب می توان روشها و مدلهای ایجاد شده جهت حل مسائل پیچیده را تنها به عنوان سایه ای از رفتارهای موجود در طبیعت دانست که، بسته به کاربرد آن روش، تغییراتی در رفتار طبیعی آنها ایجاد شده است. به طور مثال الگوریتم جامعه مورچه ها[5] یک روش موفق بهینه سازی است، که الگوریتم جستجو نشات گرفته از رفتار مورچه های واقعی در یافتن غذا می باشد [Dorigo, 1992].

جفت گیری زنبورهای عسل نیز می تواند به عنوان یک روش عمومی بر پایه رفتار حشرات جهت بهینه سازی در نظر گرفته شود که در آن الگوریتم جستجو الهام گرفته از فرآیند جفت گیری زنبورهای واقعی است. تاکنون کاربردهای محدودی در حل برخی مسایل درحوزه مهندسی کامپیوترگزارش شده است [Abbass, 2001a-e]، اما، نه تنها، در مسایل عملی و مهندسی سابقه ای از کاربرد موفق آن گزارش نشده است، بلکه، توسعه الگوریتم نیز به مقدار اندکی مورد توجه قرار گرفته است.

[1] Simulated Annealing (SA)
[2] Genetic Algorithm (GA)
[3] Tabu Search (TS)
[4] Artificial Neural Network (ANN)
[5] Ant Colony Optimization (ACO)

سالهاست که مسائل مختلف مهندسی آب و بویژه مساله بهره برداری بهینه از مخـازن مـورد بحـث و تبـادل نظـر بـین محققین مختلف علوم مهندسی و آب قرار دارد. افزایش ابعاد زمانی و مکانی و نیز پیچیده تر شدن توابع هـدف مـسائل، استفاده از روشهای ریاضی بهینه سازی اعم از خطی و/یا غیر خطی[1] بر پایه گرادیان[2]، را محـدود مـی سـازد. گزارشـات محققین نشان می دهد که در مسائل خاص مهندسی منابع آب که به شدت مقعر[3] باشند، ایجـاد جوابهـای شـدنی و/یـا نیل به جواب مطلوب نزدیک به بهینه با مشکلات جدی روبرو است [Cai, et al., 2001]. از جمله ایـن مـسائل مـی توان به بهره برداری از یک سیستم چندمخزنی با اهداف متعدد غیر خطی اشاره نمود که با افزایش ابعاد مخـازن و نیـز تعداد آنها مساله بسیار پیچیـده شـده و از تـوان روشـهای معمـول بهینـه سـازی بـر پایـه گرادیـان خـارج مـی گـردد [Labadie, 2004]. لذا دستیابی به روشهای فراگیر، ساده، سریع و کارآمد از جمله ضروریات حل مسائل بهینه سازی است که در این تحقیق امکان استفاده از فرآیند جفت گیری زنبورهای عسل جهـت توسـعه الگـوریتم بهینـه سـازی و آزمون چگونگی برآورده شدن اهداف فوق الهام گرفته شده است.

۱-۲- اهداف مورد انتظار

روشهای ریاضی بهینه سازی تا کنون کاربردهای بسیاری در مسایل بهینه سازی مهندسی داشته اند. اما همانگونـه کـه قبلا عنوان شد این روشهای دقیق در مسایل غیر خطی ، مقعر ، حجیم، با ابعاد و پیچیدگی زیاد، کارایی مناسب خود را از دست داده و ضمن طولانی شدن زمان محاسبات گاه ممکن است به جواب بهینه مطلق همگـرا نـشده و یـا حتـی در یافتن جواب شدنی نیز با مشکل روبرو شوند [Cai, et al., 2001]. لذا ایده توسعه و استفاده از روشهای تقریبی، کـه الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبورهای عسل (HBMO)[4] نیز از آنهاست، اجتناب ناپـذیر مـی نمایـد. بـا توجـه بـه سابقه کم مطالعات انجام گرفته بر روی این الگوریتم از یک طرف و دورنمای روشن کارآئی این الگوریتم از طرف دیگـر، که خود ریشه در تبعیت جامعه زنبورها از پدیده ها ی طبیعی و زندگی تکاملی آنها دارد، به نظر می رسد که بتـوان بـا توسعه الگوریتم و ایجاد تغییراتی در ساختار آن به شیوه ای نو، مناسب و کآرا برای حل برخی از مـسائل بهینـه سـازی دست یافت. لذا هدف این پروژه در دو سطح کلان و خرد تعریف شده است. در سطح کلان اهداف مطالعه به شـرح زیـر تعریف شده است:

[2] Non Linear
[3] Gradient Base
[3] Non Convex
[4] Honeybees Mating Optimization (HBMO)

۱) *بررسی دقیق ویژگیهای فرآیند جفت گیری زنبورهای عسل و توانمندیها و محدودیتهای بالقوه الگوریتم نشات گرفته از این فرآیند در بهینه سازی سیستمهای پیچیده مهندسی بطور عام و هیدروسیستمها به طور خاص.*

۲) *توسعه قابلیت های HBMO به منظور ابداع یک الگوریتم بهینه سازی قابل تعمیم به اغلب سیستمهای متنوع مدیریت منابع آب از طریق تمرکز بر وجوه اشتراک و افتراق فرآیند جفت گیری زنبورهای عسل با الگوریتمهای فرا کاوشی مشابه و مورد استفاده در الگوریتم از جمله GA و SA*

۳) *استخدام الگوریتم توسعه یافته HBMO در حل نمونه هائی از مسائل ریاضی و سیستم های مدیریت منابع آب، با دامنه پیچیدگی های متفاوت همراه با بررسی حساسیت توابع به کار رفته در الگوریتم.*

در سطح خرد مشخصا تلاش خواهد شد تا اهداف زیر تامین گردد:

- *ایجاد نوآوریهایی در جهت افزایش روند و سرعت همگرایی و کاهش ابعادی مدلسازی و مستقل نمودن روند الگوریتم از نوع مسئله خاص.*
- *بررسی نحوه عملکرد در حل مسائل پیچیده شناخته شده ریاضی.*
- *حل مدل بهره برداری مخزن تک منظوره در حالات یک، چهار و ده مخزنه.*
- *کاربرد مدل در یک نمونه دیگر از مسائل مدیریت آب به منظور تائید کارآئی مدل در حل دیگر مسائل موجود در حوزه مدیریت منابع آب بخصوص مسائل غیر خطی با تقعر[1] بالا از نوع گسسته و پیوسته.*
- *مقایسه نتایج الگوریتم HBMO با نتایج حل موجود و گزارش شده سایر محققین در حل برخی مسائل فوق الذکر.*

۱-۳- دامنه و وسعت کار

با درک شباهتهای نسبی فرآیند جفت گیری زنبورهای عسل با فرآیند مدلسازی GA، بخصوص در مراحل پس از جفت گیری تا تولد بچه زنبورها، این قسمت از مدل HBMO می تواند مستقلا مدلسازی شده و یا از اشکال پیشرفته GA بهره گیرد. لذا وجود شباهت در قسمتی از مدل HBMO با مدل GA اجتناب ناپذیر می نماید. گرچه فرآیند جفت گیری زنبورهای عسل در هسته مرکزی شبیه الگوریتم GA ظاهر می شود، اما در نوع انتقال ژنها از نسلی به نسل دیگر تفاوتهائی نیز با GA معمول و مورد توجه محققین در تحقیقات گذشته ملاحظه می شود. از طرف دیگر در

[1] Non Convexivity