بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تبریز

دانشکده عمران

گروه مهندسی آب

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران- آب

عنوان

استفاده از روش برنامه ریزی ژنتیک در مدلسازی بارش- رواناب

استاد راهنما

دکتر محمد تقی اعلمی

استاد مشاور

دکتر محمد علی قربانی

پژوهشگر

حمید فضائیلی

شهریور ۸۹

تقدیر و تشکر:

با تشکر از استادان گرانقدر دکتر اعلمی و دکتر قربانی که به نتیجه رسیدن این پایان نامه

مرهون راهنمائی های ارزنده آنهاست

شهریور ۱۳۸۹

حمید فضایلی

نام خانوادگی دانشجو: فضایلی **نام:** حمید

عنوان پایان‌نامه:

استفاده از روش برنامه ریزی ژنتیک در مدلسازی بارش- رواناب

استاد راهنما: دکتر محمد تقی اعلمی

استاد مشاور: دکتر محمد علی قربانی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** آب دانشگاه: تبریز

دانشکده: فنی و مهندسی تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۹/۶/۳۱ **تعداد صفحه:** ۱۰۰

کلید واژه‌ها: بارش- رواناب، برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)، حوضه تهم چای، مدلسازی، رگرسیون غیر خطی

چکیده:

روشهای مبتنی‌بر هوش مصنوعی اخیراً توجه بیشتری را در مدلسازی فرآیند بارش- رواناب به خود جلب کرده است.برنامه‌ریزی ژنتیکGP به عنوان یکی از زیر شاخه‌های مهم هوش مصنوعی است، که در این تحقیق استفاده شده است.در این مطالعه دو رویکرد مختلف که توسط محققین پیشین در مدلسازی بارش- رواناب با برنامه ریزی ژنتیک استفاده شده بود ، با هم مقایسه شده است.نتیجه اساسی حاصل از این مقایسه بر توانایی روش GP در انتخاب متغیرهای مؤثر بر مدل تاکید دارد. برای بهبود نتایج بدست آمده از GP از روش رگرسیون غیر خطی استفاده شده است. در این روش با استفاده از حداقل خطای مربعات غیر خطی مدل حاصل شده از رگرسیون سمبلیک بهینه سازی شده است.همچنین استفاده از روش برنامه ریزی ژنتیک برای تعیین رگرسورها در روش رگرسیون خطی به جای استفاده از روش رگرسیون گام به گام به عنوان کاربرد دیگری از GP در مدلسازی بارش- رواناب ارائه شده است.یکی از مشکلات پیش رو در اجرای برنامه‌ریزی ژنتیک پدیده رشد بیش از حد برنامه بدون بهبود قابل توجهی در تناسب برنامه است، که به آن در اصطلاح پف کردن برنامه اطلاق می‌شود.روشهای مختلفی برای کنترل این پدیده توسط محققین ارائه شده که در این مطالعه این روشها در حوزه شبیه‌سازی بارش- رواناب مقایسه شده و بهترین آنها به نام روش اتاق انتظار (Waiting Room) معرفی شده است.رویکرد این تحقیق در هرچه بهتر کردن روشهای قبلی و رفع نقایص احتمالی بوده است و مدلهای دیگر ارائه شده در این تحقیق نه با هدف مقایسه بلکه به جهت ارائه کاربردهایی از برنامه‌ریزی ژنتیک در این روشهای مدلسازی است. در حالت کلی هدف این مطالعه را می‌توان تحلیل توانائی‌ها و بررسی نقطه ضعف‌های روش برنامه‌ریزی ژنتیک دانست.

فهرست مطالب

۱-کلیات و بررسی منابع ۲

مقدمه ۲

ساختار پایان‌نامه ۳

۱-۱- بررسی منابع و پیشینه پژوهش برنامه‌ریزی ژنتیک(GP) ٤

۱-۱-۲-کتابهای کلیدی ٤

۱-۱-۳-مجلات کلیدی ٥

۱-۱-٤-کنفرانسهای بین‌المللی کلیدی ٥

۱-۱-٥- برنامه‌های کامپیوتری نوشته شده در ارتباط با GP ٥

۱-۱-٦-مراجع On-Line ٥

۱-۲-پیشینه تحقیق مدلسازی در مطالعات منابع آب به کمک برنامه‌ریزی ژنتیک ٦

۱-۳- پیشینه پژوهش مدلسازی بارش- رواناب با برنامه‌ریزی ژنتیک ۹

۲- مواد و روشها ۱۲

مقدمه ۱۲

۲-۱- روشهای کلاسیک تخمین فرآیند بارش- رواناب ۱۳

۲-۱-۱- روش استدلالی ۱۳

۲-۱-۲- روش مدت- مساحت ۱۳

۲-۱-۳- روشهای مبتنی بر هیدروگراف ۱٤

۲-۱-۳-۱- مدل مخزن خطی ۱٥

۲-۱-۳-۲- مدل ناش(مدل مخازن خطی آبشار) ۱۷
۲-۱-۳-۳- هیدروگراف واحد مصنوعی ۱۷
۲-۲- مدلسازی بارش- رواناب با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک ۱۸
۲-۲-۱- معرفی برنامه ریزی ژنتیک ۱۹
۲-۲-۲- روشهای محاسباتی تکاملی ۲۱
۲-۲-۲-۱- الگوریتم ژنتیک ۲۲
۲-۲-۲-۲- برنامه نویسی تکاملی ۲٤
۲-۲-۲-۳- استراتژی های تکاملی ۲۵
۲-۲-۲-٤- برنامه‌ریزی ژنتیک ۲۷
۲-۲-۳- گام‌های اجرایی برنامه‌ریزی ژنتیک ۳۰
۲-۲-۳-۱- ایجاد جمعیت اولیه ۳۱
۲-۲-۳-۲- نمونه برداری ۳۳
۲-۲-۳-۳-اعمال اپراتورهای ژنتیک بر نمونه ها و ایجاد اعضای جدید ۳٤
۲-۲-۳-٤- محاسبه تناسب هر یک از اعضا با استفاده از روشهای موجود و تعدیل آن ۳٦
۲-۲-۳-۵- ایجاد نسل بعدی با استفاده از یکی از روشهای جمعیت ثابت منابع محدود وجمعیت دینامیک. ۳۹
۲-۲-٤- روشهای مختلف کنترل پف کردن برنامه در محدودهٔ مدلسازی بارش-رواناب ٤۱
۲-۲-٤-۱-روش حد استاتیک ٤۱
۲-۲-٤-۲-روش حد دینامیک ٤۱
۲-۲-٤-۳-روش محدودیت منابع ٤۲
۲-۲-٤-٤-روش Waiting Room ٤۲
۲-۳- مدل رگرسیون خطی چند متغیره ٤۳

۲-۳-۱-تفسیر ضرایب رگرسیون ٤٥
۲-٤- مدل رگرسیون غیرخطی ٤٦
۲-٥- معرفی حوضه و داده‌های مورد مطالعه ٤٨
۲-٦- معرفی نرم افزارهای مورد استفاده در مدل‌سازی ٥١
۲-۷- معیار ارزیابی مدل ٥٤
۳- بحث و نتیجه‌گیری ٥٧
۳-۱- مدل برنامه‌ریزی ژنتیک حوضهٔ آبریز تهم چای(سارمساقلو) ٥٧
۳-۱-۱- نرمال سازی داده‌ها ٥٨
۳-۱-۲- نحوه تنظیمات برنامه ٥٨
۳-۱-۳- انتخاب متغیرهای ورودی و اجرای برنامه ٥٩
۳-۱-٤- آنالیز حساسیت ٦٥
۳-۱-٥- مدلسازی با همهٔ متغیرهای مفروض ٦٦
۳-۱-٦-بررسی مفید بودن اضافه کردن توابع دیگر به توابع اصلی ۷۳
۳-۲- مدل رگرسیون سمبلیک- رگرسیون خطی چند متغیره ۷٤
۳-۳-مدل رگرسیون سمبلیک- رگرسیون غیر خطی ۷٦
۳-٤- مدل برنامه‌ریزی ژنتیک- رگرسیون خطی چند متغیره (زیر حوضه لییز فری از حوضه کلرادو-آریزونا) ... ۷۸
۳-٥-مقایسه روشهای مختلف کنترل پف کردن برنامه ۸۱
۳-٦- جمع بندی ۸٤
۳-۷- پیشنهادات ۸٥
A- عیب یابی GP ۸۷
A -۱- آیا خطایی در کد نویسی برنامه وجود دارد؟ ۸۷

A-۲- آیا نتایج قابل اطمینان هستند؟ ۸۷
A-۳- هیچ راه حل جادوئی وجود ندارد ! ۸۸
A-٤- تغییرات کوچک می‌تواند تاثیرات بزرگی داشته باشد ! ۸۸
A-٥- تغییرات بزرگ ممکن است هیچ تاثیری نداشته باشد ! ۸۹
A-٦-جمعیت GP را مطالعه کنید ۸۹
A-۷-آیا تنوع جمعیت به اندازه کافی است؟ ۹۰
A-۸-از پف کردن برنامه جلوگیری کنید ۹۱
B-برنامه های کامپیوتری ضمیمه ۹۲
B-۱- برنامه کامپیوتری انتخاب به روش چرخ رولت به زبان مطلب از جعبه ابزار GPLAB ۹۲
B-۲-برنامه کامپیوتری در زبان مطلب‌که تعداد اعضای کاهش یابنده را در روش جمعیت دینامیک مشخص می کند(از جعبه ابزار GPLAB). ۹۳
B-۳- برنامه کامپیوتری روش اتاق انتظار که توسط نگارنده به زبان مطلب نوشته شده است. ۹۳

فهرست جداول

جدول۱-۱- کاربرد برنامه‌ریزی ژنتیک در زمینه مهندسی عمران(شاو و همکاران ،۲۰۰٤) ۸
جدول۲-۱- توابع و ترمینالهای استفاده شده در مطالعات مربوط به مدلسازی بارش-رواناب ۱۸
جدول۲-۲- نحوه عملکرد هریک از گزینه ها در برنامه nlinfit ٤۷
جدول۲-۳- معرفی پارامترهای قابل تنظیم در برنامه ریزی ژنتیک ۵۳
جدول۳-۱- مشخصات آماری داده‌های رواناب و بارش ۵۷
جدول۳-۲- تنظیمات برنامه‌ریزی ژنتیک ۵۸
جدول۳-۳- انتخاب متغیرهای حساس به وسیلهٔ GP ۵۹
جدول۳-٤- مدلهای پیشنهاد شده توسط نرم افزار ٦۲

جدول۳-۵- مشخصات آماری مدل انتخاب شده ٦٢
جدول ۳-٦- متوسط درصد تغییرات در پیش‌بینی رواناب (α=۱) ٦٥
جدول ۳-۷- تنظیمات برنامه‌ریزی ژنتیک ٦٦
جدول۳-۹- مقایسه نتایج حاصل از مرحله واسنجی دو روش ۱-انتخاب متغیرهای مؤثر با GP قبل از مدلسازی و مدلسازی با متغیرهای بدست آمده(روش ۱) ، ۲-مدلسازی با کلیه متغیرها وسپس ساده سازی مدل با حذف متغیرهای بدون تاثیر باآنالیز حساسیت(روش۲) ۷۲
جدول۳-۱۰- مقایسه نتایج حاصل از مرحله صحت سنجی دو روش ۱-انتخاب متغیرهای مؤثر با GP قبل از مدلسازی و مدلسازی با متغیرهای بدست آمده(روش ۱) ، ۲-مدلسازی با کلیه متغیرها وسپس ساده سازی مدل با حذف متغیرهای بدون تاثیر باآنالیز حساسیت(روش۲) ۷۲
جدول۳-۱۱- پارامترهای بدست آمده از روش حداقل خطای مربعات ۷٤
جدول۳-۱۲- پارامتر های بدست آمده با روش حداقل خطای مربعات غیر خطی مرحلهٔ واسنجی ۷٦
جدول۳-۱۳- مشخصات دبی آماری حوضه لییز فری(۲۰۰۵-۲۰۱۰) ۷۸
جدول۳-۱٤- انتخاب متغیرهای حساس با GP ۷۹
جدول۳-۱۵- پارامترهای بدست آمده از مرحله کالیبراسیون ۸۰
جدول۳-۱٦- معیارهای دقت وپیچیدگی مدلها با روشهای مختلف کنترل رشد برنامه ۸۱
جدول۳-۱۷- مقایسه روشهای کنترل رشد برنامه ۸۲

فهرست اشکال

شکل۲-۱-مقایسه روشهای مختلف مدلسازی بارش-رواناب(رابونال و همکاران ،۲۰۰٦) ۱۲
شکل۲-۲-طرح کلی گام های مقدماتی برنامه ریزی ژنتیک(پولی و همکاران ،۲۰۰۸) ۲۰
شکل۲-۲ ساختار درخت تجزیه ۲۷
شکل۲-۳ جایگاه برنامه‌نویسی ژنتیک در بین سایر الگوریتم‌های تکاملی ۲۹
شکل ۲-٤ فلوچارت برنامه‌نویسی ژنتیک (جان کوزا، ۱۹۹۲) ۳۰
شکل ۲-۵ مروری بر شکل کلی گام‌های اجرایی برنامه‌نویسی ژنتیک(فربدفام، ۱۳۸۸) ۳۰
شکل ۲-٦- ایجاد یک گراف با حداکثر عمق ۲ با استفاده از روش full (t=time) ۳۱

شکل ۲-۷- ایجاد یک گراف با حداکثر عمق ۲ با استفاده از روش grow (انتخاب یک ترمینال در زمان t=2 باعث بسته شدن شاخه چپ گراف شده است). ۳۲
شکل۲-۸ حالت subtree crossover(پولی و همکاران ،۲۰۰۸) ۳۵
شکل ۲-۹ حالتone-point crossover(پولی و همکاران ،۲۰۰۸) ۳۵
شکل ۲-۱۰ حالت subtree Mutation(پولی و همکاران ، ۲۰۰۸) ۳۶
شکل۲-۱۱-رودخانه تهم چای (نقشه رودخانه‌های ایران) ٤٨
شکل۲-۱۲ موقعیت مکانی حوضهٔ آبریز مورد مطالعه ٤٩
شکل۲-۱۳ رودخانه کلرادو در آریزونا ۵۰
شکل۲-۱٤-رودخانهٔ کلرادو ۵۰
شکل۲-۱۵ متوسط بارش روزانهٔ حوضهٔ آبریز کلرادو(ایالت آریزونا) ۵۱
شکل۲-۱٦ رواناب روزانه رودخانهٔ کلرادو(ایالت آریزونا) ۵۱
شکل ۲-۱۷ محیط نرم‌افزار GeneXproTools 4.0 ..... ۵۲
شکل۳-۱ شکل درختی مدل ایجاد شده به وسیلهٔ GP ٦۰
شکل ۳-۲- مقایسهٔ نتایج بدست آمده از مدل با داده‌های مشاهداتیA:مقایسه با نمودار خطی B:نمودار ستونی انباشته ٦۳
شکل۳-۳ شکل درختی خروجی مدل ٦۸
شکل۳-٤ نمودارهای مقایسه مقادیر مشاهداتی با محاسباتی دبی ٦۹
شکل ۳-۵- نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی با محاسباتی در مرحله تست ۷۵
شکل ۳-٦- مقایسه دو مدل رگرسیون سمبلیک و رگرسیون سمبلیک- رگرسیون غیر خطی ۷۷
شکل۳-۷- مقادیر مشاهداتی دبی روزانه نرمال شده در حوضه لیز فری(۲۰۰۵-۲۰۱۰) ۷۹
شکل۳-۸- مقادیر مشاهداتی بارش روزانه نرمال شده در حوضه لیز فری(۲۰۰۵-۲۰۱۰) ۷۹
شکل ۳-۹- مقایسه دبی مشاهداتی با محاسباتی (شکل سمت چپ مربوط به مرحله واسنجی و شکل سمت راست مربوط به مرحله صحت سنجی) ۸۰
شکل۳-۱۰- پف کردن برنامه در روش بدون حد ۸۳
شکل۳-۱۱- کنترل پف کردن برنامه در روش اتاق انتظار ۸۳

فصل اول:

کلیات و بررسی منابع

بهتر آن است که ذهن را برای اندیشیدن مورد استفاده قرار دهیم نه برای انبار کردن اطلاعات. (آلبرت انیشتین)

۱-کلیات و بررسی منابع

مقدمه

در دهه های اخیر رشد جمعیت، باعث گسترش جوامع شهری در داخل حوضه های آبریز گردیده است. گسترش شهرها باعث تغییر اکولوژیک منطقه و از طرفی بوجود آمدن منابع و منافع اقتصادی فراوان در داخل حوضه های آبریز گردیده است. این موضوع باعث اهمیت روز افزون برنامه های مدیریت حوضه های آبریز گردیده است. در بسیاری از کشورها برنامه های مطالعاتی گسترده‌ای در مورد حفاظت از آب و خاک (آبخیزداری) و گسترش حوضه آبریز در حال انجام است.تخمین صحیح رواناب حوضه نیاز مهم در این برنامه می باشد،زیرا تخمین اضافی رواناب هزینه های غیر ضروری وزیادی را به طرح تحمیل می کند و تخمین کم رواناب باعث تخریب ناگهانی سازه های کنترل موجود در حوضه و وارد آمدن تلفات جانی و مالی فراوان می گردد.

علیرغم تمامی پیشرفت های علمی صورت گرفته در زمینه پیش بینی و مقابله با پدیده سیلاب این مسئله همچنان گریبان گیر تمامی کشور های دنیا، اعم از فقیر یا ثروتمند می باشد. البته در کشور های پیشرفته به دلیل سیستم های نوین پیش‌بینی ، روندیابی ، حفاظت وهشدار ، همواره مشکلات مالی وجانی درحد قابل قبولی می باشد.

در کشور ما ایران نیز همواره سیل به عنوان یکی از حوادث غیر مترقبه طبیعی، مخرب وویرانگر بوده و هنوز هم می باشد.آمار جمع آوری شده حاکی از آن است که طی ۷۰ سال، از سال ۱۳۰۵ تا ۱۳۷۵ حدود ۲۶۸۱ سیل حادثه خیز در ایران به وقوع پیوسته است که منجر به فوت ۵۲۲۲ نفر از هموطنان گردیده است. در راستای کنترل این موضوع و موضوعات مرتبط، مرحله روندیابی رواناب حاصل از بارش مهمترین نقش را دارا می باشد اما فرآیند بارش- رواناب پدیده پیچیده ای می باشد که به فاکتور های زیادی مانند رطوبت خاک، کاربری زمین، ژئومورفولوژی، تبخیر و نفوذ حوضه آبریز و... بستگی دارد. با توجه به این نیاز از سالهای گذشته فعالیتهای فراوانی در این زمینه آغاز گردیده است.(دل‌افروز ، ۱۳۸٦)

از سال ۱۹۳۰ تاکنون مدلهای هدرولوژیکی خطی وغیر خطی فراوانی جهت شبیه سازی و پیش بینی فرآیندها و متغیرهای هیدرولوژیکی پیشنهاد گردیده و این مدلها در طول زمان پیشرفت کرده اند و به طور مستمر با معرفی ابزار جدید و بالا رفتن دانش بشری کیفیت مدلهای پیشنهادی افزایش و این روند بهبود یافته است.

از زمانی که شرمن، ۱۹۳۲ مفهوم هیدروگراف واحد را پیشنهاد کرد، مدلهای بارش- رواناب برای شبیه سازی فرآیند بارش- رواناب به طور گسترده به کار رفته اند. در این میان خاصیت غیر خطی و عدم قطعیت ذاتی فرآیند

بارش- رواناب، نیاز به اطلاعات تاریخی طولانی و پیچیده بودن مدلهای فیزیکی از دلایلی بوده است که باعث شده محققین به سوی روشهای الهام گرفته شده از طبیعت همچون برنامه ریزی ژنتیک(GP) رو آورند. روشهای الهام گرفته شده از طبیعت که جزو محاسبات نرم معرفی می شوند از جمله برنامه ریزی ژنتیک، جزو مدلهایی هستند که در تحقیقات پیچیده و دقیق از آنها استفاده می شود.

با توجه به اینکه‌رابطه بین بارش‌ورواناب به طور دقیق مشخص نیست، لذا برنامه‌ریزی ژنتیک بدلیل‌اینکه بین متغیرهای ورودی و خروجی روابطی را به طور تصادفی ایجاد کرده و با استفاده از اصول انتخاب طبیعی داروین در نهایت بهترین رابطه را ارائه می‌کند، می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های مدل‌سازی پدیده‌های طبیعی از جمله بارش- رواناب محسوب شود.

دراین‌تحقیق‌فرآیندبارش-رواناب‌حوضه تهم چای، بااستفاده از برنامه‌ریزی‌ژنتیک، برنامه‌ریزی ژنتیک-رگرسیون خطی چند متغیره و همچنین برنامه‌ریزی ژنتیک-رگرسیون غیر خطی ، ونیز فرآیند بارش-رواناب حوضه آبریز لیزفری در ایالت آریزونا با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک-رگرسیون خطی چند متغیره، مدل‌سازی‌ونتایج با داده‌های‌مشاهداتی‌موردمقایسه‌قرارخواهدگرفت تا دقت آنها درمدلسازی‌این‌پدیده مورد ارزیابی قرار گیرد. لازم به تذکر است که در این مطالعه، رویکرد به سمت مدلسازی فرآیند بارش- رواناب به کمک روش برنامه‌ریزی ژنتیک و تلاش در هرچه بهتر کردن روشهای قبلی و رفع نقایص احتمالی بوده است. مدلهای دیگر ارائه شده در این تحقیق نه با هدف مقایسه بلکه به جهت ارائه کاربردهایی از روش برنامه‌ریزی ژنتیک در این روشهای مدلسازی است. در حالت کلی هدف این مطالعه را می‌توان به اختصار تحلیل توانایی‌ها و بررسی نقطه ضعف‌های روش برنامه‌ریزی ژنتیک دانست.

ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه مشتمل بر سه فصل است. در فصل اول مبانی نظری تحقیق بیان شده و بررسی منابع صورت گرفته است.فصل دوم شامل معرفی تئوری‌های مدل‌های مورد استفاده، خصوصیات مناطق مورد مطالعه، نحوه به کار گرفتن مدل‌ها در حوضه‌های مورد مطالعه و معیارهای ارزیابی می‌باشد. در فصل سوم به تخمین پارامترهای مدل‌ها، ارزیابی مدلهای به‌کار رفته، بررسی نتایج مدلها و نیز بررسی حساسیت مدلهای بدست آمده به پارامترهایشان پرداخته شده و در نهایت نتایج حاصل از این مطالعه و پیشنهادات به منظور مطالعات بعدی بیان شده است.

۱-۱- بررسی منابع و پیشینه پژوهش برنامه‌ریزی ژنتیک(GP)

تحقیقاتی که در گذشته در زمینه برنامه‌ریزی ژنتیک انجام گرفته بسیار گسترده ودر زمینه‌های مختلفی از کاربرد GP می‌باشد.این تحقیقات از سال ۱۹۹۰ با ارائه اصول کلی این روش توسط جان کوزا[1] شروع شد.و تاکنون ادامه دارد.مقالات بسیار مؤثری برای پیشبرد این روش در طول این مدت به نگارش در آمده است. از این میان، مقالات ارائه شده در کنفرانس بین‌المللی الگوریتم ژنتیک (ICGA-95 , ICGA-93)، کنفرانس محاسبات تکاملی (EC-1994) و همچنین کنفرانس برنامه‌نویسی تکاملی جزء مقالات شاخص به شمار می‌روند.

در سالهای اخیر مطالعات انجام شده چنان توسعه یافته اند که بعید به نظر می‌آید کسی بتواند کلیه این مطالعات را در یک بخش مختصر گردآوری کند.در این بخش تعدادی از مهمترین منابع ومطالعات انجام شده در زمینه GP آورده می‌شود.(به نقل از کتاب A Field Guide to Genetic Programming (پولی و همکاران ،۲۰۰۸)[2]) .

۱-۱-۲-کتابهای کلیدی[3]

تاکنون بیش از ۳۱ کتاب در زمینه برنامه‌ریزی ژنتیک و کاربردهای آن به زبان انگلیسی نوشته شده است. اولین کتاب نوشت شده ، کتاب برنامه‌نویسی ژنتیک نوشته جان کوزا در سال ۱۹۹۲ است. کوزا بعد از آن سه کتاب دیگر منتشرکرد. این کتابها عبارتند از:

-(Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs (1994) deals with ADFs)

-(Genetic Programming III (1999) covers ,in particular , the evolution of analogue circuits)

-(Genetic Programming IV (2003) uses GP for automatic invention)

انتشارات دانشگاه ام ای تی این کتاب‌ها را با عنوان Advances in Genetic Programming منتشر کرده است.کتاب Foundations of Genetic Programming ، (پولی و لانگدن[4]،۲۰۰۲) شامل کاربردهای برنامه‌ریزی ژنتیک در زمینه محاسبات تحلیلی و ریاضی است. همچنین مجموعه کتابهای The joint GP / genetic algorithms شامل ۱٤ جلد کتاب در زمینه برنامه‌ریزی ژنتیک و الگوریتم ژنتیک است ، که اولین آنها کتاب Genetic Programming and Data Structures ،(لانگدن ،۱۹۹۸[5]) است.

[1] John koza
[2] Poli et al.,2008
[3] Key Books
[4] Langdon and Poli 2002
[5] Langdon ,1998

۱-۱-۳-مجلات کلیدی[6]

مجلات Genetic Programming and Evolvable Machines و Evolutionary Computation (مجله جدیدی در زمینه تکامل مصنوعی و کاربردهای آن) جزو مجلات معتبر و مهم در ارتباط با GP هستند. کتابشناسی GP (لانگدن و همکاران ،۱۹۹۵–۲۰۰۸) دارای لیستی از ۳۷۵ مجله معتبر در سراسر جهان است که مقالاتی در ارتباط با GP منتشر کرده است.

۱-۱-٤-کنفرانسهای بین‌المللی کلیدی[7]

از کنفرانس‌های معتبر در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

1-EuroGP (The European Conference on Genetic Programming)
2- GECCO(The Genetic and Evolutionary Computation Conference)
3-CEC (Congress on Evolutionary Computation)
4-PPSN(Parallel Problem Solving from Nature)

۱-۱-۵- برنامه‌های کامپیوتری نوشته شده در ارتباط با GP

یکی از راه‌های بسیار مؤثر در زمینه یادگیری GP و درک نحوه عملکرد آن، مطالعه برنامه‌های نوشته شده و اجرای آنهاست. تاکنون برنامه‌های مختلفی برای روش برنامه‌ریزی ژنتیک نوشته شده است که از میان آنها Lil-GP نوشته پانچ و زانگکر ، (۱۹۹۸)[8] ECJ نوشته لیوک و همکاران ، (۲۰۰۰–۲۰۰۷)[9] و GPC++ نوشته فراسر و وینبرنر ، (۱۹۹۳–۱۹۹۷)[10] جزو مهمترین آنهاست. وهمچنین از میان نرم افزارهای تجاری معروف می‌توان به Discipulus®[11] و GeneXproTools®[12] اشاره کرد.

۱-۱-٦-مراجع On-Line

مراجع On-Line به دلیل آسانی دسترسی جزو مراجع مهم در پژوهش‌های کنونی به‌شمار می‌روند یکی از مراجع On-Line کلیدی در ارتباط با برنامه‌ریزی ژنتیک، کتابشناسی GP نوشته لانگدن و همکاران (۱۹۹۵–۲۰۰۸) با آدرس دسترسی http://www.cs.bham.ac.uk/wbl/biblio/ می‌باشد. یکی دیگر از مراجع مهم سایت بسیار

[6] Key Journals
[7] Key International Meetings
[8] Punch and Zongker , 1998
[9] Luke et al . ,2000-2007
[10] Fraser and Weinbrenner , 1993-1997
[11] RML Technologies , 1998-2007
[12] Gepsoft Technologies

ارزشمند http://www.genetic-programming.org/ است، که شامل مقالات و برنامه‌های کامپیوتری نوشته شده در ارتباط با برنامه‌ریزی ژنتیک است.

۱-۲-پیشینه تحقیق مدلسازی در مطالعات منابع آب به کمک برنامه‌ریزی ژنتیک

-(قربانی وهمکاران،۲۰۱۰) با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه های عصبی مصنوعی نوسانات سطح آب دریای هیلاری[۱۳] را با داده های ۱۲ ساعته، ۲٤ ساعته، ۵ روزه و ۱۰ روزه مدلسازی کردند . نتایج این تحقیق نشان می دهد که در اکثر حالت ها نتایج حاصل از برنامه‌ریزی ژنتیک از دقت بیشتری نسبت به شبکه های عصبی مصنوعی برخوردار است.

-(ماکسورن و همکاران[۱٤] ،۲۰۰۸)مقاله‌ای با عنوان "پیش بینی کوتاه مدت سیلاب با تغییرات اقلیم جهانی (بررسی مقایسه‌ای بین برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه‌های عصبی)" ارائه کردند . در این تحقیق نقش واهمیت دمای سطح دریا، توزیع بارش ، داده‌های هواشناسی محلی وداده‌های تاریخی سیل برای پیش‌بینی دبی‌ها در یک حوضه نیمه خشک در جنوب تگزاس اشاره شده است. در این مقاله از دو مدل محاسبات نرم شامل برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است که نتایج حاصل دقت بالای مدل برنامه‌ریزی ژنتیک نسبت به مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد.

-(استوریکار و دئو[۱۵] ،۲۰۰۸)مقاله‌ای با عنوان "تکمیل آمار ناقص موج‌ها با برنامه‌ریزی ژنتیک " ارائه کردند. داده‌های یک سری زمانی از ارتفاع های امواج مهم همواره دارای نواقص کوچک و بزرگ می‌باشد و داده‌های ناقص به علت خطای ناشی از اختلاف ترازبندی مابین دستگاه‌های مختلف و یا مفقود شدن داده‌های ضبط شده می‌باشد.برای تکمیل داده‌های ناقص بارش و جریان تلاش‌های زیادی صورت پذیرفته ولی برای داده‌های ناقص امواج، تحقیقی صورت نپذیرفته است. در این مقاله برای تکمیل داده‌های ناقص امواج از برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شده و داده‌های ناقص ساعتی ارتفاع امواج در یک ایستگاه شناور که توسط مرکز اطلاعاتی رهنمای شناوری ایالات متحده جمع آوری شده بود توسط مدل برنامه‌ریزی ژنتیک تکمیل گردید. در این تحقیق نتایج حاصله با نتایج حاصل از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز مقایسه گردیده که نتایج حاکی از دقت بالای مدل برنامه‌ریزی ژنتیک در اکثر موارد بر مدل شبکه های عصبی مصنوعی دارد.

[13] Hillary
[14] Makkeasorn et al ., 2008
[15] Ustoorikar and Deo .,2008

-(گار و دئو ،۲۰۰۸) مقاله‌ای با عنوان "پیش‌بینی بهنگام امواج توسط برنامه‌ریزی ژنتیک"ارائه کردند. زمانیکه هر عملیاتی در اقیانوس صورت گیرد پیش‌بینی بهنگام امواج اقیانوس لازم می‌باشد. در گذشته تحقیقاتی در این زمینه توسط مدلهای استوکاستیکی و شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام یافته است.در این تحقیق از مدل برنامه‌ریزی ژنتیک برای رسیدن به این هدف استفاده شده است و از داده‌های موجود در دو ایستگاه شناور در خلیج مکزیک استفاده شده است.داده‌های ارتفاع امواج ۱۵ سال برای آموزش و ۵ سال برای تست به صورت ۳،٦،۱۲،۲٤ ساعته مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاکی از دقت بالای مدل برنامه‌ریزی ژنتیک در پیش‌بینی امواج اقیانوس می‌باشد.

-(آیتک و کشی[16] ،۲۰۰۸) مقاله‌ای با عنوان "نقش برنامه‌ریزی ژنتیک برای مدلسازی رسوب‌های معلق" ارائه کردند.این تحقیق ، برنامه‌ریزی ژنتیک را به عنوان یک روش نوین برای ایجاد رابطه دبی-رسوب معلق روزانه ، بیان کرده است. روابط تجربی از قبیل نمودارهای نرخ رسوب اغلب جهت تخمین روابط نسبی مابین جریان و بار رسوب معلق استفاده می‌گردد. اینگونه مدل‌ها معمولا مقدار رسوب را یا ناچیز در نظر می‌گیرند و یا بیش از حد درنظر می‌گیرند. بنابراین برای مدلسازی جریان – رسوب به یک روش نوین جهت مدلسازی نیاز است. در این تحقیق یک مدل صریح که مبتنی بر برنامه‌یزی ژنتیک می‌باشد جهت هدف فوق مورد استفاده قرار گرفته است. برنامه‌ریزی ژنتیک با تکنیک‌های نمودارهای نرخ رسوب و رگرسیون چند خطی مقایسه گردیده است. برای این کار از داده‌های جریان طغیانی و رسوب معلق دو ایستگاه در رودخانه تانگو[17] واقع در مونتانا[18] استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه سازی مدل برنامه‌ریزی ژنتیک در مقایسه با مدلهای نمودارهای نرخ رسوب و رگرسیونی چند خطی نتایج فوق العاده بالایی داده است.

-(بورللی و همکاران[19] ، ۲۰۰٦) مقاله‌ای با عنوان"توانایی برنامه‌ریزی ژنتیک در خارج کردن روند از داده‌های مربوط به سری‌های نویزدار "ارائه کردند. در این مقاله با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک برای پیش‌بینی استوکاستیکی سری‌ها زمانی نویزدار اقدام شده است.برای دستیابی به یک بستر مناسب ، تعدادی از سری زمانی مشهور که فاقد نویز بود نویزدار شده ومورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصله حاکی از توانایی بالای مدل برنامه‌ریزی ژنتیک در خارج کردن روند از سری‌های زمانی نویزدار می‌باشد.

[16] Aytek and Kisi
[17] Tangue
[18] Montana
[19] Borelli et al

-(سلطانی و همکاران، ۱۳۸۸) رابطه دبی- اشل روزانه رودخانه قیزیلیرماک[20] در کشور ترکیه را با استفاده ازشبکه های عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی و برنامه ریزی ژنتیک مدلسازی کردند . نتایج این تحقیق نشان می دهد که هر سه روش رابطه دبی- اشل را با دقت قابل قبولی مدلسازی می کنند ولی برنامه ریزی ژنتیک بدلیل اینکه قابلیت استخراج رابطه ریاضی و انتخاب متغیرهای معنی دار را دارد، به عنوان مدل رابطه دبی- اشل پیشنهاد شده است.

جدول۱-۱-کاربرد برنامه‌ریزی ژنتیک در زمینه مهندسی عمران(شاو و همکاران ،۲۰۰٤)[21]

کاربرد	مؤلف	سال	عنوان
Shear strength prediction of deep RC beams	Ashour et al	2003	Estimation of the shear strength of deep RC beams, subjected to two point loads, from 141 published experimental results.
Modeling of Wastewater treatment plants	Hong and Bhamidimarri	2003	Use of genetic programming to model the dynamic performance of municipal activated sludge wastewater treatment plants.
Detection of traffic accidents	Roberts and Howard	2002	Detection of accidents on motorways in low flow, high-speed conditions i.e. late at night based on three years of traffic data whilst producing a near zero false alarm rate.
Flow through a urban basin	Dorado et al	2002	Construction of sewage network model in order to calculate the risk posed by rain to the basin and thus provide prior warning of flooding or subsidence.
Prediction of journey times	Howard and Roberts	2002	Investigation of GP to forecast the motorway journey times.
Estimation of design intent	Ishino and Jin	2002	Using GP to automatically estimate design intent based on operational and product-specific information monitored throughout the design process.
Modeling of water supply assets	Babovic et al	2002	In order to determine the risk of a pipe burst, a GP is evolved to ‘data mine’ a database containing information about historic pipe bursts.
Identification of crack profiles	Kojima et al	2001	Detection of cracks inside hundreds of heat exchanger tubes in a nuclear power plant’s steam generator via analysis of data measured via quantitative non-destructive testing.
Modeling rainfall-runoff	Wigham& Crapper	2001	Discovery of Rainfall-Runoff relationships in two vastly different catchments.
Prediction of long-term electric power demand	Lee et al	1997	Symbolic regression via genetic programming to predict the long-term electric demand of Korea based on training data from 1961 to 1980
Evolution of traffic light control laws	Montana and Czerwinski	1996	Evolution of a new type of adaptive control system for a network of traffic signals depending on variations in traffic flow.
Identification of crack profiles	Koppen and Nickolay	1996	Agent generation to detect and track dark regions that could be cracks in grayscale images of textured surfaces.

[20] Kizilirmak
[21] shaw et al .,2004

۱-۳- پیشینه پژوهش مدلسازی بارش- رواناب با برنامه‌ریزی ژنتیک

- (ویگهام و کراپر[۲۲]، ۲۰۰۱) با استفاده از برنامه ریزی ژنتیک و مدل قطعی یاکرس[۲۳] فرآیند بارش- رواناب روزانه را در دو حوضه تیفی[۲۴] و نامی [۲۵] مدلسازی کردند که نتایج حاصل از برنامه ریزی ژنتیک دقت بهتری نسبت به مدل قطعی نشان داد.

- (خو [۲۶]و همکاران ،۲۰۰۱) در یک تحقیق در مورد حوضه آبریز اورگوال[۲۷] در کشور فرانسه، از برنامه ریزی ژنتیک برای پیش بینی رواناب ساعتی بهره برده و نتایج حاصل را با مقادیر مشاهداتی و نیز مقادیر محاسبه شده توسط روش های کلاسیک مورد مقایسه قرار دادند . حاصل تحقیق، بیانگر دقت قابل قبول برنامه ریزی ژنتیک می باشد.

-(لیونگ[۲۸] و همکاران،۲۰۰۲) با مطالعه رابطه بارش- رواناب در زمان های متفاوت بدین نتیجه دست یافتند که استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک در پیش بینی رفتار بارش- رواناب در حوضه های آبریز سبب بروز خطای کمتری می گردد.

- (جایاواردنا[۲۹] وهمکاران، ۲۰۰۵) مقاله‌ای با عنوان "مدلسازی بارش-رواناب با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک" ارائه کردند .در این تحقیق داده‌های سه حوضه مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از حوضه‌ها با شیب نسبتاً تند در هنگ کنگ(حوضه هوک تاوو[۳۰]) و در دوحوضه دیگر با وسعت نسبتاً زیاد واقع در شمال چین (حوضه‌های شانتین[۳۱]و شانگیاو[۳۲]) واقع شده است. برای پیش‌بینی رواناب در حوضه هوک تاوو ، توانایی تکنیک‌های تکاملی خیلی رضایت‌بخش نبود.این حوضه یک حوضه با شیب بسیار تندکه دارای دبی اوج بزرگی است ،می‌باشد و دارای زیر حوضه‌های کمی است.چنین شرایطی برای مدلسازی بوسیله برنامه‌ریزی ژنتیک مناسب نمی‌باشد. دردوحوضه دیگر توانایی برنامه‌ریزی ژنتیک کاملاً رضایت بخش می‌باشد. یکی از توانایی های برنامه‌ریزی ژنتیک در مدلسازی در این حوضه‌ها نسبت به سایر روشهای مدلسازی این است که در این روش ، هیچ راه حل اولیه‌ای به فرم تابع

[22] Whigham and Crapper
[23] IHACRES
[24] Teifi
[25] Namoi
[26] Khu
[27] Orgeval
[28] Liong
[29] Jayawardena
[30] Hok Tau
[31] Shuntian
[32] shanqiao