

برنامه‌ریزی سکوهای پرنده خودکار برای مأموریت‌های جستجو و نجات پس از مخاطرات طبیعی بر مبنای الگوریتم پیشنهادی G-BFOA

علی اصغر حیدری^۱، رحیم علی عباسپور^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - گروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی -

دانشگاه تهران

as_heidari@ut.ac.ir

^۲ استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

abaspour@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۲، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۳)

چکیده

امروزه با رخداد بلایای طبیعی، گردآوری بی‌درنگ اطلاعات مکانی و محیطی از طریق به‌کارگیری سکوهای پرنده بدون سرنشین (UAV) به‌عنوان سکوی حامل سنجنده‌های چندمنظوره، به امری ضروری تبدیل شده است. سکوهای پرنده بدون سرنشین با پوشش سامانمند و سریع نواحی پرخطر که دسترسی نیروهای امداد زمینی به آن‌ها ممکن نیست، نقش قابل توجهی را در بهبود کیفیت مأموریت امداد و جستجوی مجروحین پس از وقوع مخاطرات طبیعی ایفا می‌کنند. از سوی دیگر، برنامه‌ریزی مأموریت UAV خود یکی از مراحل بنیادین جهت دستیابی به ناوبری خودکار UAV می‌باشد. در این زمینه، تعیین خطوط سیر بهینه با توجه به نیازهای مأموریت و شرایط محیطی یکی از مراحل ضروری در برنامه‌ریزی سکوی خودکار می‌باشد. در این پژوهش افزون بر بررسی نقش UAV در بهبود عملیات امداد و نجات در شرایط بحران، الگوریتم غذایابی باکتری بهبود داده شده و جهت حل مسئله برنامه‌ریزی خط سیر UAV پیاده‌سازی می‌شود. سپس، به‌منظور اعتبار سنجی کارکرد الگوریتم پیشنهادی با دیگر الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده مقایسه می‌گردد. در پایان، نتایج شبیه‌سازی مأموریت جستجو و نجات با سکوی پرنده و دستاوردهای پژوهش بیان می‌شود.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی، سکوهای پرنده بدون سرنشین، ناوبری خودکار، مأموریت امداد و نجات، الگوریتم غذایابی باکتری

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، سکوها‌ی پرنده بدون سرنشین^۱ به‌عنوان سکوی حامل سنجنده‌های فتوگرامتری، دوربین‌های ویدئویی، فرسرخ و لایدار نقش بسزایی در پیشرفت علوم مکانی ایفا کرده‌اند. از این‌رو، سیستم‌های UAV مجهز به سامانه خودکار ناوبری، در کاربردهای مختلفی همچون مدیریت بحران، سنجش‌از‌دور، کنترل و پایش ترافیک، دیده‌بانی، شناسایی و ره‌گیری بکار گرفته شده‌اند [۱]. مدیریت بحران را می‌توان قانون و قاعده‌ای برای پیشگیری و رویارویی با آسیب‌های احتمالی وقوع هرگونه بحران طبیعی و یا غیرطبیعی تعریف کرد. اصولاً، مدیریت بحران مجموعه‌ای از فرایندها را پیش، حین و پس از وقوع هر بحران پیش‌بینی، بررسی و برنامه‌ریزی می‌کند تا بتواند تا حد ممکن از تلفات مالی و انسانی جلوگیری نموده و یا آن‌ها را کاهش دهد [۲]. سازمان مدیریت بحران شامل یک چرخه با چهار فاز شامل پیشگیری، آمادگی، پاسخ و بهبود می‌باشد که UAV در همه این مراحل موجب بهبود بهره‌وری و سرعت اجرایی می‌شود [۳]. از این‌رو در فاز پاسخ شامل عملیات جستجو و نجات، به دلیل شرایط پیچیده، اختلال در شبکه‌های ارتباطی و تغییرات محیطی، به‌کارگیری سکوها‌ی خودکار امری اجتناب‌ناپذیر است. این سیستم‌ها با پوشش سامانمند منطقه و جستجوی خودکار نواحی آسیب‌دیده، نقش بسزایی را در مدیریت بی‌درنگ بلایای طبیعی و کاهش تلفات انسانی ایفا می‌کنند [۴]. همچنین این سیستم‌ها در مأموریت‌های وابسته به سنجش‌از‌دور، بهره‌وری و ایمنی حسگرها را افزایش داده و موجب کاهش هزینه‌ها و نیروی زمینی می‌شوند [۵].

پیشگیری و ناپایداری محیطی از ویژگی‌های فراگیر فضا‌های آسیب‌دیده است که پس از وقوع مخاطرات طبیعی در جغرافیا، زیرساخت‌های انسانی، عدم تقارن قوا و فرآیندهای سازمانی قابل‌مشاهده می‌باشد. از این‌رو، انجام عملیات جستجو و نجات با به‌کارگیری UAV، به دلیل فراهم آوردن بی‌درنگ اطلاعات مکانی موردنیاز در محیط‌های پیچیده، ناشناخته و غیرقابل‌دسترسی، یک راهبرد کارساز جهت مدیریت بحران محسوب می‌شود [۶].

از سوی دیگر، با توجه به پیشرفت‌های فناوری، روند توسعه UAV از سیستم‌های کنترل شونده از راه دور^۲ (RPV) به سمت توسعه سیستم‌های خودکار می‌باشد. از این‌رو، عمده‌ترین نیاز در توسعه سامانه‌های خودکار بدون سرنشین، توسعه الگوریتم‌های پشتیبان به‌منظور برنامه‌ریزی، هدایت، ناوبری و پردازش اطلاعات حسگرها می‌باشد [۷]. در یک چارچوب یکپارچه فضایی، خودکاربودن UAV نیز از یک‌سو بر میزان دسترسی به اطلاعات ضروری مأموریت از طریق سنجنده‌های سکو و ارتباطات سیار و از سوی دیگر بر الگوریتم‌های جامع، کارا و پایدار جهت تصمیم‌گیری خودگردان در هنگام مأموریت استوار است. در همین راستا، برنامه‌ریزی UAV و طراحی خط سیر، دو مرحله ضروری در سیر توسعه زیرساخت سامانه‌های ناوبری خودکار می‌باشند [۸].

در مسئله برنامه‌ریزی سکوها‌ی خودکار، با فرض معلوم بودن وضعیت کنونی یک سکو یا گروهی از سکوها و همچنین نقشه‌ای از محیط حرکت، هدف محاسبه خط سیر بهینه پرواز می‌باشد، به‌گونه‌ای که تابع هدف مشخصی با توجه به ویژگی‌های دینامیکی و پارامترهای مأموریت بهینه شود و سکو بدون برخورد با موانع و دیگر سکوها در حضور مناطق تهدید به یک موقعیت هدف یا پیکربندی مشخص در فضای پرواز برسد [۹]. بدین منظور، الگوریتم برنامه‌ریزی باید بتواند خطوط سیر بهینه، قابل‌پرواز و کنش‌پذیری فراهم آورد که نقاط آغازین و هدف را به‌صورت ایمن به هم متصل کنند، به‌گونه‌ای که بتوان آن‌ها را بر پایه یک قید مکانی-زمانی ارزش‌گذاری و مقایسه نمود [۱۰]. به همین سبب، دو مسئله مهم در فرآیند برنامه‌ریزی خط سیر، کنش‌پذیری و بهینگی می‌باشد. در کنش‌پذیری، بدون در نظر گرفتن کیفیت طراحی خط سیر، به دنبال محاسبه مسیر ایمن حرکت UAV می‌باشند؛ اما در بهینگی، هدف تولید مسیر کنش‌پذیری است که بر پایه قیود موجود در مرحله طراحی مأموریت، به‌صورت بهینه تعریف شود. در سناریوهای واقع‌گرایانه، الگوریتم‌ها باید بتوانند افزون بر دستیابی به اهداف برنامه‌ریزی، وظایف پیچیده سکو، محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌های محیطی را در محاسبات لحاظ کنند [۲۴].

^۲ Remotely Piloted Vehicles

^۱ Unmanned Aerial Vehicles

در این پژوهش با بهبود عملکرد الگوریتم غذایی باکتری، برنامه‌ریزی سه‌بعدی UAV جهت مأموریت‌های امداد و نجات انجام شده و عملکرد این الگوریتم تحت دو سناریوی شبیه‌سازی شده با الگوریتم‌های ACQ، BA^{۱۱}، DE، ES^{۱۲}، GA و PSO مقایسه می‌شود. بدین منظور در بخش ۲ اهمیت و ضرورت به‌کارگیری UAV در مأموریت امداد و نجات بیان گردیده، در بخش ۳، الگوریتم بهبودیافته غذایی باکتری ارائه می‌شود، سپس در بخش ۴ مدل‌سازی ریاضی و قیود برنامه‌ریزی UAV در مأموریت‌های امداد و نجات انجام می‌شود. در بخش ۵ نتایج پیاده‌سازی الگوریتم و شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته ارائه خواهد شد. بدین منظور نتایج مربوط به سرعت همگرایی الگوریتم‌ها، زمان اجرا و دقت هر الگوریتم در جهت برنامه‌ریزی UAV ارائه شده است. در پایان، در بخش پایانی نتایج و دستاوردهای پژوهش مطرح می‌شود.

۲- برنامه‌ریزی UAV در امداد و نجات

سکوهای هوایی چندمنظوره به سیستم‌های بدون سرنشینی اطلاق می‌شود که در آن ضمن نصب یک یا چند سنجنده اخذ داده بر روی یک سکوی پرنده، مأموریت اخذ اطلاعات محیطی به‌صورت هدایت از راه دور انجام می‌شود [۲۱]. با توجه به مأموریت‌های جستجو با بالگرد و مسائلی همچون هزینه‌های تحمیلی، دسترسی محدود به تجهیزات و کادر پرواز، ملزومات اجرایی و پروانه‌های نظامی موردنیاز، محدودیت سوخت و نیروی مأموریت، ماهیت سلسله‌مراتبی دسترسی به اطلاعات و محدودیت‌های سرعت، زمان و ارتفاع پرواز، بهره‌گیری از سیستم‌های بدون سرنشین در شرایط ناگه آیند، رویکردی پرهیز ناپذیر است [۲۸]. از این‌رو، به‌کارگیری سکوهای پرنده بدون سرنشین به‌عنوان یک فناوری کارا و مقرون‌به‌صرفه، موجب بهبود عملکرد نیروهای زمینی امداد و نجات در شرایط مدیریت بحران خواهد بود [۶]. هزینه متعارف به‌کارگیری سکوهای پرنده، امکان پرواز در نواحی مخاطره‌آمیز، آلوده و غیرقابل دسترسی با ایجاد کمترین آلودگی صوتی، پایش وضعیت زیرساخت‌های حیاتی، فراهم آوردن چارچوب مرجع مکانی جهت پوشش یا

روش‌های بهینه‌سازی مختلفی جهت برنامه‌ریزی UAV بکار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به روش جستجوی گرادیان مبنا [۱۱]، الگوریتم‌های EA [۱۲]، PSO [۱۳]، شبکه‌های عصبی [۱۴]، GA [۱۵]، DE [۱۶]، ACQ [۱۷]، برنامه‌نویسی پویا [۱۸] و MILP [۱۹] اشاره نمود. در بیشتر پژوهش‌ها از قیدهای سرعت و شعاع پیچش سکو، ارتباطات بی‌سیم، شعاع تشخیص و ایمنی سکو برای حل مسئله بهینه‌سازی بهره‌گیری کرده‌اند [۲۰]. حیدری و علی‌عباسپور نیز در [۲۱، ۲۲]، افزون بر توسعه روش‌های بهبودیافته‌ای بر مبنای الگوریتم رقابت استعماری، برنامه‌ریزی UAV خودکار را با کارکرد بهتری نسبت به تحقیقات پیشین و برای سناریوهای دیگری به انجام رساندند. در این تحقیقات اثبات گردید که روش‌های توسعه داده شده عملکرد برتری در مقایسه با الگوریتم‌های PSO، GA، ICA و ABC^۷ جهت حل مسئله داشته‌اند. در همین راستا حیدری و علی‌عباسپور در [۲۳، ۲۴]، ضمن توسعه الگوریتم‌هایی بر پایه فیزیک سیاه‌چاله، برنامه‌ریزی UAV را در محیط‌های دو و سه‌بعدی دینامیک با عملکرد ممتازی نسبت به الگوریتم‌های PSO، GA، ICA، ABC، HBMO^۸، ACO و BH^۹ شبیه‌سازی و اجرا نمودند. در [۲۵] نیز بر پایه تلفیق الگوریتم LCA^{۱۰} و ساختارهای هندسی، برنامه‌ریزی مقید سکوهای پرنده نامحسوس در محیط‌های دینامیک دوبعدی با بهترین عملکرد نسبت به الگوریتم‌های PSO و GA شبیه‌سازی گردید. همچنین در [۲۶] یک روش سریع و کارا بر مبنای محاسبات ایمنی جهت برنامه‌ریزی UAV در محیط‌های مقید سه‌بعدی ارائه گردیده است. در پژوهش [۲۷] نیز بر مبنای الگوریتم ICA بهبودیافته با سیستم آشوبناک چبیشف، یک چارچوب فازی جهت برنامه‌ریزی سکوهای نامحسوس ارائه گردیده است.

-
- ۱ Particle Swarm Optimization
 - ۲ Genetic Algorithms
 - ۳ Differential Evolution
 - ۴ Ant Colony Optimization
 - ۵ Mixed-integer Linear Programming
 - ۶ Imperialist Competitive Algorithm
 - ۷ Artificial Bee Colony Algorithm
 - ۸ Honey Bee Mating Optimization
 - ۹ Black Hole Algorithm
 - ۱۰ League Championship Algorithm

۱۱ Bat Algorithm
۱۲ Evolution Strategy

بازیابی ارتباطات، انطباق‌پذیری سازگاری با انواع مأموریت‌ها و توانایی پایش افراد، منابع و تراهرها منطقه آسیب‌دیده به‌منظور کنترل امنیت به‌صورت بلندمدت و پیوسته از مزایای به‌کارگیری سکویای پرنده بدون سرنشین در سناریوهای جستجو و نجات پس از وقوع مخاطرات طبیعی می‌باشد.

عملیات امداد و نجات به‌عنوان بخش عمده مرحله رویارویی با بحران شامل جستجو، نجات، تأمین کمک‌های اولیه، انتقال مجروحان تا نزدیک‌ترین مرکز درمانی، تغذیه اضطراری، ساخت و تأمین سرپناه اضطراری، تخلیه جمعیت‌ها، تأمین امکانات اولیه و دریافت و توزیع کمک‌های مردمی و کالاهای اهدایی سازمان‌های غیردولتی داخلی و فرامرزی است [۲۹]. در این فرآیند سامانمند، UAV می‌تواند به‌عنوان سکوی حامل سنجنده های چندمنظوره در گردآوری اطلاعات، پایش محیط و کشف مجروحان در کنار نیروی زمینی و در جهت سرعت بخشی به پیشرفت عملیات جستجو و نجات مجروحین مورد استفاده قرار گیرد [۲]. از سوی دیگر، پس از وقوع بلایای طبیعی نظیر سیل یا زلزله، انجام عملیات امدادسانی زمینی به سهولت امکان پذیر نیست و در صورت انجام پرواز سکوی پرنده نیز، میزان انرژی سکو و زمان پرواز محدود بوده و از این‌رو نوبری و هدایت به دست عامل انسانی مستقر در ایستگاه کنترل زمینی امری بسیار دشوار، فاقد سرعت، دقت و کارایی لازم است [۲۴]. همچنین در برخی مأموریت‌های گشت زنی بُرد بلند، لازم است که UAV مسافت زیادی را بیرون از محدوده کنترل پرواز کرده و در این‌بین مسیر بهینه را به‌صورت خودکار دنبال کند. از این دیدگاه، با توجه به چشم‌انداز توسعه سیستم‌های بدون سرنشین خودکار، به‌منظور افزایش بهره‌وری، خودکارسازی، دقت، امنیت و قابلیت اطمینان پرواز و همچنین کاهش هزینه‌ها، نیروی انسانی و ریسک در مأموریت سیستم‌های هوایی بدون سرنشین، طراحی و برنامه‌ریزی خط سیر بهینه حرکت UAV به‌صورت الگوریتم مینا و مستقل از سهوهای عامل انسانی، امری موردنیاز در صنایع وابسته خواهد بود [۲۵]. به دلیل شرایط حساس و وضعیت متغیر و ناشناخته منطقه بحران‌زده، مسیریابی خودکار سکویای پرنده بخش بنیادین فرآیند نوبری خودکار جهت امدادسانی به مجروحین می‌باشد [۶]. در این فرآیند هر برنامه‌ریز

می‌تواند در ایستگاه کنترل زمینی، در فرآیند نوبری، شبیه‌سازی و امکان‌سنجی پیش از پرواز و بهینه‌سازی خط سیر سه‌بعدی پرواز با توجه به پارامترهای مأموریت، جهت هدایت خودکار در محیط‌های ناشناخته بکار گرفته شود [۲۲].

برای نمونه در یک مأموریت پایش و نظارت محیط پس از وقوع زلزله بیشینه‌سازی پارامترهایی همچون تعداد اهداف نظارت‌شده، تعداد مجروحان یافت شده، عملکرد طبقه بندی و میزان اختفاء و همچنین کمینه‌سازی پارامترهایی نظیر عدم قطعیت نوبری و میزان مصرف سوخت و انرژی از اهداف برنامه‌ریزی مسیر حرکت سکوی پرنده می‌باشد. بر این پایه که چه معیارهایی در فرآیند بهینه‌سازی لحاظ گردد، حل الگوریتم مینای مسئله منجر به نتایج مختلفی همچون یافتن کوتاه‌ترین مسیر میان دو پیکربندی فضایی، گردآوری اطلاعات جهت تولید نقشه‌های دقیق‌تر از محیط و یا جستجوی اشیاء در محیط‌های ناشناخته می‌شود. قیودی که به‌منظور برنامه‌ریزی جهت این سناریو مطرح است عبارت‌اند از محدودیت‌های سکو از قبیل میزان مصرف سوخت و انرژی و ویژگی‌های دینامیکی، محدودیت‌های سنجنده شامل میزان پوشش، میدان دید و توان تفکیک تصاویر موردنیاز برای تشخیص عوارض زمینی، محدودیت‌های محیط پرواز از جمله تأثیرات مدل اتمسفری، خطر برخورد با ارتفاعات، محدودیت‌های اهداف شامل قیود حرکتی و محدودیت‌های مأموریت از قبیل محدودیت زمانی جهت سرعت بخشی به عملیات نجات. در این مأموریت، گروه امداد و نجات زمینی می‌تواند با بهره‌گیری از UAV خودکار، وضعیت منطقه آسیب‌دیده را بررسی و اطلاعات موردنیاز را در کمترین زمان ممکن گردآوری نماید.

۳- الگوریتم بهبود یافته G-BFOA

تاکنون الگوریتم غذایابی باکتری^۱ (BFOA) در حل بسیاری از مسائل بهینه‌سازی مهندسی به کار گرفته شده است [۳۰]. الگوریتم غذایابی باکتری با الهام گیری از رفتار غذایابی باکتری‌ها به‌عنوان یک الگوریتم مبتنی بر خرد جمعی پیشنهاد گردید [۳۱]. نسخه‌های بهبودیافته دیگر الگوریتم BFOA و کاربردهای آن، در تحقیقات

^۱ Bacterial Foraging Optimization

در این رابطه θ_{gbest} بهترین موقعیت یافت شده در سراسر جمعیت و $\theta_{i,pbest}$ بهترین موقعیت موجود در حافظه باکتری i ام است.

۳-۲- عملکرد گروهی

در هنگام حرکت، سلول‌ها مواد دفع‌کننده و جذب‌کننده‌ای را آزاد می‌نمایند که به منزله پیامی به دیگر باکتری‌ها جهت گردهمایی در نواحی پرودین و دوری از نواحی عاری از مواد غذایی می‌باشد. در صورتی که $\theta^i(j,k,l) = \{\theta^i(j,k,l) \mid i=1,2,\dots,S\}$ بیانگر مجموعه مکان باکتری‌ها باشد، جذب و دفع سلول به سلول در مرحله عملکرد گروهی، مطابق رابطه (۳) مدل‌سازی گردیده است:

$$j_{cc}(\theta, P(j,k,l)) = \sum_{i=1}^S j_{cc}^i(\theta, \theta^i(j,k,l)) = \sum_{i=1}^S \left[-d_{attract} \exp(-\omega_{attract} \sum_{m=1}^p (\theta_m - \theta_m^i)^2) \right] + \sum_{i=1}^S \left[-d_{repellant} \exp(-\omega_{repellant} \sum_{m=1}^p (\theta_m - \theta_m^i)^2) \right] \quad (3)$$

که در این رابطه $j_{cc}(\theta, P(j,k,l))$ با توجه به حرکت همه باکتری‌ها، تابع زمان بوده و به مقدار تابع هزینه اصلی افزوده می‌گردد. S بیانگر تعداد کل باکتری‌ها، P تعداد پارامترهای دخیل در فضای جستجو جهت بهینه‌سازی، $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p]^T$ بیانگر یک نقطه در دامنه بهینه‌سازی در فضای p بعدی، θ_m^i نیز نشان‌دهنده m امین جزء مکان باکتری i ام θ^i است.

$\{\omega_{repellant}, d_{repellant}, \omega_{attract}, d_{attract}\}$ ضرایبی می‌باشند که باید مقادیر مناسبی را برای آن‌ها گزینش کرد. در الگوریتم غذایی باکتریایی هیچ‌گونه همکنشی میان اعضای یک جمعیت وجود ندارد؛ به عبارت دیگر، اطلاعات مناسب‌تر که به وسیله باکتری‌های موجود در نواحی با ماده مغذی بیشتر یافت شده، میان دیگر باکتری‌ها به اشتراک گذاشته نمی‌شود.

[۳۲-۳۵] پیشنهاد گردیده است. ایده بنیادین این الگوریتم بر این مبنا استوار است که جانداران با راهبرد غذایی ضعیف‌تر، احتمال انقراض بیشتری نسبت به جانداران با راهبرد غذایی موفق خواهند داشت. در این الگوریتم که با الهام از طبیعت باکتری E-coli در روده انسان توسعه داده شده، روش غذایی بر چهار مرحله اصلی حرکت^۱، عملکرد گروهی^۲، تولیدمثل^۳ و حذف و پراکندگی^۴ استوار است (شکل ۱). این باکتری می‌تواند با حرکت نرم و غلت خوردن به مناطق مغذی برود و از مناطق پرخطر دور شود.

۳-۱- حرکت

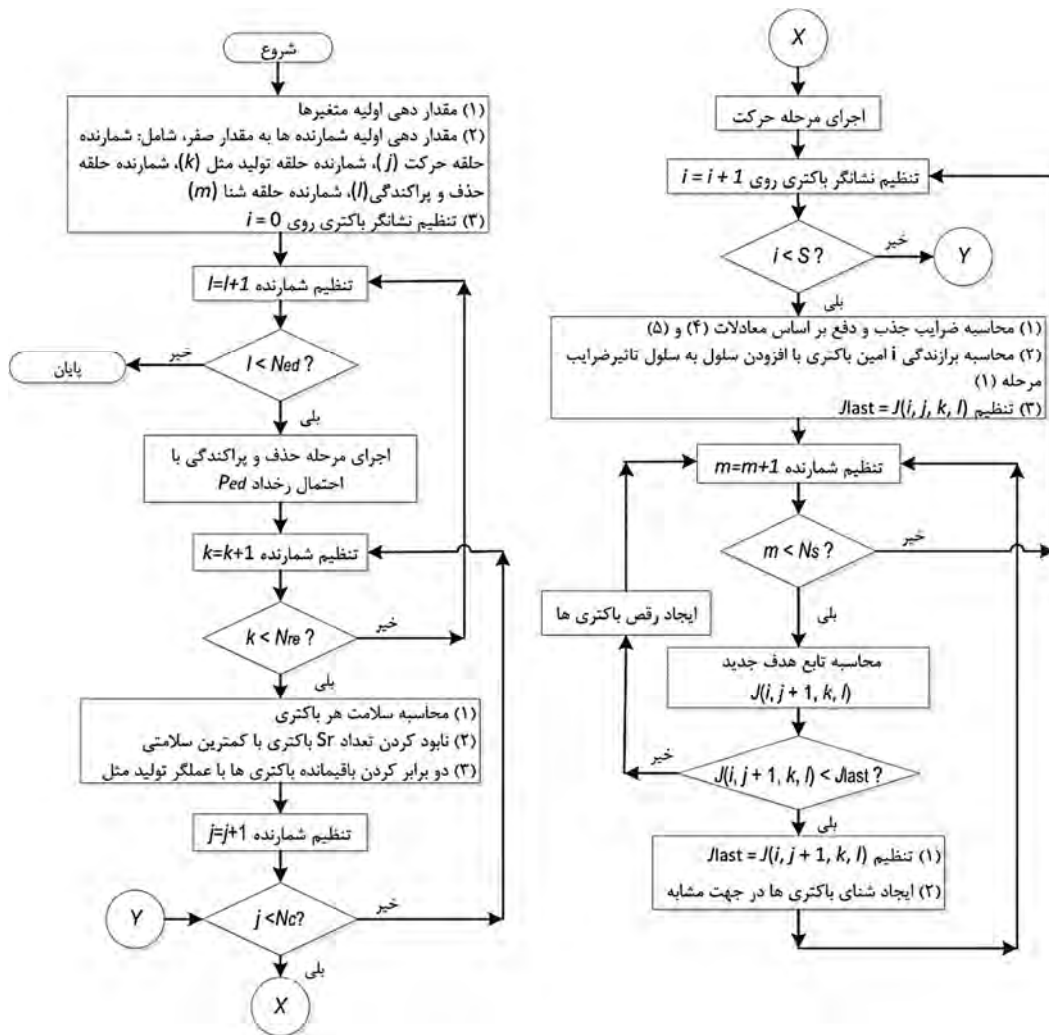
در این مرحله، باکتری‌ها شروع به جنبش و شنا می‌کنند. با هر جنبش باکتری، تغییر جهت حاصل می‌شود و اگر در جهت نوین مقدار ماده مغذی بهتر بود، باکتری شروع به حرکت در آن مسیر خواهد کرد. فرض می‌شود $J(i,j,k,l)$ نشان‌دهنده تابع هزینه در مکان باکتری i ام است و $\theta^i(j,k,l)$ نشان‌دهنده وقوع J امین حرکت، k امین تولید مثل و l امین حذف و پراکندگی بوده و همچنین $C(i)$ نشان‌دهنده اندازه گام‌های تصادفی در هر بار لغزش باشد. در این صورت حرکت لغزشی به صورت رابطه (۱) ارائه می‌شود:

$$\theta^i(j+1,k,l) = \theta^i(j,k,l) + C(i) \times \frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta(i)^T \Delta(i)}} \quad (1)$$

که در این رابطه $\Delta(i)$ عددی تصادفی در بازه $[0,1]$ است. هنگامی که یک باکتری مسیر بهتری را برای تغذیه کشف می‌نماید، دیگر باکتری‌ها را به سمت خود جذب نموده و پس از آن باکتری‌ها سریع‌تر به موقعیت منبع تغذیه اصلی خواهند رسید. در این مقاله، جهت افزایش احتمال دسترسی باکتری‌ها به مناطق مساعدتر و اشتراک اطلاعات میان عناصر جمعیت، هر باکتری دارای حافظه بوده و مقدار $\Delta(i)$ مطابق رابطه (۲) تعیین می‌گردد:

$$\Delta(i) = (\theta_{gbest} - \theta^i(j,k,l)) + (\theta_{i,pbest}^i - \theta^i(j,k,l)) \quad (2)$$

- ۱ Chemotactic
- ۲ Swarming
- ۳ Reproduction
- ۴ Elimination and Dispersal



شکل ۱- فلوجارت الگوریتم بهبودیافته G-BFOA

می‌شوند مطابق روابط (۴) و (۵)، با گذشت زمان و تعداد تکرارهای بیشتر الگوریتم، میزان جذب باکتری‌ها و از این‌روی نرخ تغییرات سرعت همگرایی الگوریتم کاهش می‌یابد. همچنین باکتری‌ها متناسب با برازندگی خود دارای انرژی جنبشی بوده که با حرکت به سمت نواحی غنی از مواد مغذی، میزان آن کاهش می‌یابد.

$$d_{attract}^i = 1 - \omega_{attract}^i = \sum_{N=1}^{N_c} \kappa \times \left[d_{attract}^0 \frac{E}{M} \times \left(\frac{N_c - N}{N_c} \right)^\alpha \right] \quad (4)$$

$$E = J^i(j, k, l) \times J^i(j, k, l)$$

$$M = (\Delta\theta^m(j, k, l) + \varepsilon)^2 \times [J(i, j, k, l) + J(i', j, k, l)]$$

$$d_{repellant}^m = 1 - \omega_{repellant}^m = \sum_{N=1}^{N_c} \kappa \times \left[d_{repellant}^0 \frac{H}{S} \times \left(\frac{N_c - N}{N_c} \right)^\alpha \right] \quad (5)$$

$$H = (\Delta\theta^m(j, k, l) + \varepsilon)^2 \times [J(m, j, k, l) + J(m', j, k, l)]$$

$$S = J^m(j, k, l) \times J^m(j, k, l)$$

در این مقاله، به منظور ارتقاء عملکرد گروهی و ایجاد توازن میان ویژگی‌های متمرکزسازی و متنوع‌سازی الگوریتم، نوعی خاصیت جذب فیزیکی بین باکتری‌ها برقرار می‌شود که از روی آن، خاصیت متمرکزسازی الگوریتم بهبود می‌یابد. در روابط پیشنهادی (۴) و (۵) به ترتیب بر حسب $\Delta\theta^i$ بین دو باکتری در مکان منابع غنی‌تر (پاسخ‌های برتر) و $\Delta\theta^m$ بین دو باکتری در محیط عاری از مواد مغذی (پاسخ‌های با برازندگی بیشتر) نیروی کشش و دافعه‌ای بین آن‌ها ایجاد می‌شود، به گونه‌ای که جذب بین پاسخ‌های برتر، بر حسب اختلاف موقعیت آن‌ها بیشتر از جذب بین باکتری‌هایی باشد که در نواحی دور از منابع غذایی و دورتر از یکدیگر واقع شده‌اند. در این صورت، برای هر باکتری این مقادیر محاسبه شده و متناسب با آن، ضرایب معنادار $\{\omega_{repellant}, d_{repellant}, \omega_{attract}, d_{attract}\}$ (۳) وارد معادله (۳)

پراکندگی از به دام افتادن باکتری‌ها در نقاط بهینه محلی جلوگیری می‌کند.

۴- مدل سازی برنامه‌ریزی مأموریت UAV

به منظور اجرای خودکار مأموریت جستجو و نجات توسط سکوی پرنده بدون سرنشین، سیستم‌های پردازش تصاویر و سیستم برنامه‌ریزی مسیر در ایستگاه زمینی به صورت تعاملی همکاری می‌کنند (شکل ۲). از طرفی، با توجه به تغییرات محیط پس از وقوع بلایای طبیعی نظیر سیل و زلزله، توپوگرافی منطقه و جزئیات عوارض موجود نیست، در نتیجه نیاز به تولید DTM^۱ منطقه نیز می‌باشد. بدین منظور می‌توان در ایستگاه زمینی، با بهره‌گیری از اطلاعات دریافت شده از سنجنده های تصویری روی سکو، مدل DTM منطقه را برآورد نمود. همچنین این مدل می‌تواند از طریق پروازهای بی‌درنگ دیگری با سکوهای سبک‌تر ساخته شود. سپس در ایستگاه کنترل زمینی، با دریافت ورودی خام حسگرهای نصب شده بر روی سکو و ارسال آن‌ها به سیستم پردازش تصاویر، تولید و آماده‌سازی DTM منطقه انجام شده و این مدل به برنامه‌ریز ارسال می‌شود. سیستم برنامه‌ریز مسیر نیز با دریافت مدل دینامیکی UAV، قیود مأموریت، مکان فرود، نقاط کنترل و DTM منطقه، مسیر بهینه جهت اجرای مأموریت جستجو را محاسبه می‌کند. سپس مسیر محاسبه شده به خلبان خودکار ارسال گردیده و سکوی پرنده ضمن دنبال کردن مسیر پیشنهادی، پرواز امداد و نجات را آغاز نموده و پرواز جستجو را تا هنگام دستیابی به اطلاعات کافی از منطقه و کشف مجروحین ادامه می‌دهد. اطلاعات اخذ شده از حسگرها، از طریق ارتباط رادویی به ایستگاه کنترل زمینی ثابت یا متحرک ارسال می‌شود و مأمورین امداد می‌توانند از طریق اطلاعات ویدئویی و تصاویر به دست آمده، مکان افراد آسیب دیده یا خطرهای احتمالی را شناسایی کنند. در این مقاله از ارائه جزئیات سیستم پردازش تصاویر جهت تشخیص خودکار مجروحین و تولید DTM خودداری می‌شود. در ادامه روش برنامه‌ریزی مسیر سکوهای پرنده به صورت یک مسئله مقید بهینه‌سازی ذکر شده است

که در این روابط $d_{attract}^0$ نشان دهنده مقدار اولیه ضریب جذب و در بازه $[0, 1]$ بوده و K و α اعدادی تصادفی در بازه $[0, 1]$ می‌باشند.

۳-۳- تولیدمثل

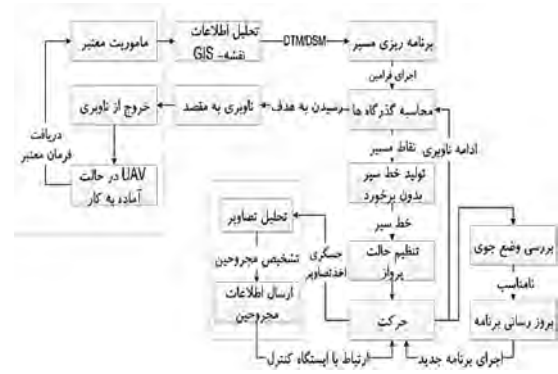
برای بیشینه دفعات حرکت، یک مرحله تولید مثل در جمعیت باکتری‌ها در نظر گرفته شده است. بدین منظور، باکتری‌ها بر مبنای مواد مغذی به دست آمده تا مرحله پیش، مرتب می‌شوند. سپس $S_r (= S/2)$ باکتری‌های با رده سلامتی کمتر حذف گردیده و باکتری‌های با مانده هرکدام به دو باکتری در همان موقعیت تبدیل خواهند شد. این فرآیند افزون بر تسهیل فرآیند کد نویسی، موجب تثبیت اندازه جمعیت می‌گردد. همچنین باکتری‌های پروردین حفظ شده و مناطق بهینه ممکن دقیق‌تر جستجو خواهند شد. مقدار برازندگی i امین باکتری، یا سلامتی آن، در J امین حرکت، k امین تولید مثل و l امین حذف و پراکندگی پس از طی کردن N_c بار مرحله حرکت، از معادله (۶) پیروی می‌کند:

$$J_{health}^i = \sum_{j=1}^{N_c+1} J^i(j, k, l) \quad (6)$$

۳-۴- حذف و پراکندگی

با تغییرات ناگهانی شرایط محیطی از جمله دما یا میزان ماده مغذی، ممکن است برخی باکتری‌های محیط، کشته یا پراکنده شوند. در نتیجه این مرحله از ابتدا در مرحله حرکت به سمت غذا تداخل ایجاد می‌کند، اما از طریق پراکنده‌سازی باکتری‌ها، بار دیگر آن‌ها را در مکان‌های نزدیک به منابع غذایی بهتر قرار می‌دهد. معادل هر مرحله تولیدمثل، یک حذف و پراکندگی اتفاق می‌افتد. بدین منظور، به ازای هر باکتری یک عدد تصادفی در دامنه $[0, 1]$ به نام P_{ed} تولید می‌شود. در صورتی که این احتمال کمتر از یک پارامتر از پیش تعیین شده باشد، باکتری از بین می‌رود و در غیر این صورت، باکتری جدیدی در محیط ایجاد می‌شود. همچنین این عملگر می‌تواند حرکت باکتری به یک موقعیت تصادفی جدید را در نظر بگیرد. مرحله حذف و

^۱ Digital Terrain Model



شکل ۲- فلوچارت برنامه‌ریزی UAV در مأموریت جستجو و نجات

محدوده جستجو، ارتفاع پرواز باید ثابت و کمتر از حد مرزی H_1 باشد. (د) به منظور جلوگیری از اعوجاج تصاویر و تأمین پوشش موردنیاز لازم است که سرعت پرواز ثابت و بیشینه زاویه چرخش سکو در راستای مسیر کمتر از حد بیشینه β باشد. (ه) عملیات پرواز باید در درون محدوده جغرافیایی تعیین شده جهت عملیات امداد و نجات انجام شود. (و) مسیر سکو باید از نواحی ممنوعه پرواز نظیر پایگاه‌های نظامی دوری کند. (ز) مسیر حرکت سکو به گونه‌ای باشد که احتمال تشخیص مجروحین بیشینه شود.

در این پژوهش، مسئله برنامه‌ریزی مأموریت امداد و نجات به صورت یک مسئله بهینه‌سازی مقید تعریف گردیده به گونه‌ای که زمان پرواز کمینه شود. از آنجاکه پرواز جستجو با سرعت ثابت انجام می‌شود، کمینه‌سازی زمان مأموریت معادل با کمینه‌سازی طول مسیر خواهد بود. در نتیجه مسیر بهینه UAV باید با در نظر گرفتن قیود ذکر شده محاسبه شود. در رابطه (۹)، L_u طول مسیر تولیدشده خم $p(u)$ می‌باشد.

$$\begin{aligned} \min kC_L + (1-k)C_s \quad & 0 < k < 1 \\ \text{s.t. } x_3^{Path} - x_3^{DTM} < S_d, \quad & \varphi_{i,i+1} < \beta, \\ x_3^{curve} < H_L, \quad & R > r_{\min} \end{aligned} \quad (8)$$

$$C_L = L_u - L_0 = \sum_{i=0}^{N-1} \|p(u_{i+1}) - p(u_i)\|_2 \quad (9)$$

$$C_s = \sum_{i=0}^{N-1} \min \{ \|p(u_i) - p(h_i)\|_2 - R_s, 0 \} \quad (10)$$

جهت جستجو و تشخیص مجروحین، UAV عملیات جستجوی مجروحین را اجرا می‌کند. فرض می‌شود که راه‌های گذرنده از نقاط مرجع، مکان‌های بهینه برای دیدن مکان فرد آسیب‌دیده باشند. همچنین فرض می‌شود که ناحیه‌ای پیرامون نقاط مرجع وجود دارد که اجازه می‌دهد UAV در آن نواحی منطقه را به منظور کشف مجروحین پایش کند، اما هر چه UAV از موقعیت مجروح دورتر باشد، کیفیت اطلاعات گردآوری‌شده کاهش خواهد یافته و در اثر آن، احتمال تشخیص مجروح کمتر خواهد بود. معادله (۱۰) بیانگر تابع هزینه تعریف‌شده برای قطعات خم بی‌بیزیر است که باید کمینه گردد. در رابطه (۱۰)،

در الگوریتم برنامه‌ریزی مسیر، جهت دستیابی به مسیر هموار و قابل پرواز، کاهش پیچیدگی هندسی مسیر حرکت، دستیابی به انعطاف‌پذیری در طراحی مسیر، امکان ویرایش نقاط کنترل بدون محاسبات مجدد، کاهش پیچیدگی زمانی - حافظه الگوریتم و حجم محاسبات در طراحی چندجمله‌ای‌های با مرتبه بالا از مدل ریاضی خم‌های بی‌بیزیر^۲ بهره‌گیری شده است. مسیر پایانی باید به گونه‌ای باشد که خمیدگی لازم جهت پرهیز از مسیرهای مستقیم و چرخش‌های تند را تأمین کند. از طرفی پارامترهای لازم جهت تعریف هندسه خم کمتر از معادلات دیگر است که موجب کاهش پیچیدگی زمانی الگوریتم برنامه‌ریزی خواهد شد. حالت چند جمله‌ای خم‌های بی‌بیزیر با نقاط کنترل $\{p_0, p_1, \dots, p_n\}$ مطابق معادله (۷) می‌باشد:

$$\begin{aligned} P(t) &= \sum_{m=0}^n t^m C_m \\ C_m &= \frac{n!}{(n-m)!} \sum_{i=0}^m \frac{(-1)^{i+m} p_i}{i!(m-i)!} = \prod_{k=0}^{m-1} (n-k) \sum_{i=0}^m \frac{(-1)^{i+m} p_i}{i!(m-i)!} \end{aligned} \quad (7)$$

در این پژوهش، محدودیت‌های زیر برای مأموریت امداد و نجات به وسیله UAV در نظر گرفته می‌شود: (الف) با توجه به اینکه زمان پس از وقوع مخاطرات طبیعی عامل حیاتی محسوب می‌شود، زمان پرواز جستجو محدود بوده و سکو باید در کمترین زمان ممکن مأموریت را به انجام رساند. (ب) با توجه به تجهیزات نصب‌شده بر روی سکوی پرنده، مسیر حرکت باید به گونه‌ای باشد که ایمنی سنجنده‌ها و سکو بیشینه گردد، از این رو برای جلوگیری از برخورد با سطح نیز پارامتر ایمنی S_d تعیین می‌شود. (ج) با توجه به حد تفکیک تصاویر موردنیاز و گستره

^۲ Bezier Curve

پارامترهای اجرای الگوریتم‌ها ارائه گردیده است. در سطر واپسین این جدول نیز مقادیر پارامترهای الگوریتم برنامه‌ریزی UAV (U-PP) نشان داده شده است.

جدول ۲- مقادیر استاندارد پارامترهای الگوریتم‌ها

پارامترها	الگوریتم
Initial pheromone value $s_0 = 1E-5$, exploration constant $q_0 = 1$, local pheromone decay rate $q_l = 0.4$, global pheromone decay rate $q_g = 0.8$, pheromone update constant $Q = 18$, visibility sensitivity $b = 6$, pheromone sensitivity $s = 1$	ACO
Loud $A = 0.85$, scaling $e = 0.3$, pulse rate $r = 0.6$	BA
Crossover $CR = 0.5$, weighting factor $F = 0.95$	DE
Off-springs $k = 20$, standard deviation $r = 1$	ES
Roulette wheel selection, single point crossover, crossover probability of 1, mutation 0.01	GA
Inertial constant = 0.3, social constant of swarm interaction = 1, cognitive constant = 1	PSO
Number of chemotactic steps $N_c=50$, number of reproduction steps $N_{re}=2$, number of elimination-dispersal events $N_{ed}=1$, probability of elimination-dispersal $P_{ed}=0.25$	G-BFO
$S_d=0.05$, $\beta=60^\circ$, $R_s=10$, $H_L=50$, $r_{min}=5$	U-PP

به منظور شبیه‌سازی سناریوی I، ۸ نقطه به‌عنوان موقعیت مجروح بر روی DTM تعیین گردید. پیاده‌سازی‌ها با در نظر گرفتن میزان جمعیت الگوریتم‌ها برابر ۱۰۰ و با تعداد تکرار ۱۰۰ انجام شده و در پایان نتایج برآمده از میانگین اجراها بررسی می‌گردد. با بررسی نتایج شبیه‌سازی در شکل ۳، می‌توان مشاهده کرد که عملکرد الگوریتم‌های GA و PSO از نظر سرعت همگرایی به نقطه بهینه پس از ۵۰ تکرار تفاوت اندکی با هم دارند، اما پیش از آن نرخ همگرایی الگوریتم PSO بهتر بوده است. الگوریتم ACO نیز دارای کمترین سرعت همگرایی می‌باشد. از سوی دیگر، عملکرد الگوریتم DE تا پیش از ۲۰ تکرار سرعت همگرایی بیشتری نسبت به الگوریتم BA داشته، اما پس از ۲۰ تکرار از نظر سرعت همگرایی همانندی زیادی دارند، باین‌حال سرعت همگرایی آن‌ها از BFOA بیشتر می‌باشد؛ اما نتایج الگوریتم G-BFOA بیانگر این است که الگوریتم یادشده افزون بر دقت در پاسخ پایانی از سرعت همگرایی بهتری برخوردار بوده و در

$p(h_i)$ بیانگر موقعیت مجروح i ام و R_s نشان‌دهنده شعاع ناحیه تحت جستجو خواهد بود. پارامتر k نیز به‌منظور پاسخگویی به تمایلات یگان تصمیم‌گیر برای اجرای مأموریت و گزینش اولویت‌های اجرایی و تأمین انعطاف‌پذیری لازم برای کنترل یکپارچه فرآیندهای بهینه‌سازی تعریف شده است.

۵- ارزیابی و تحلیل نتایج شبیه‌سازی

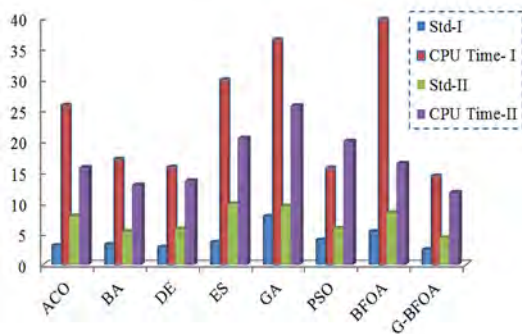
کلیه پیاده‌سازی‌ها در شرایط یکسان و با بهره‌گیری از نرم‌افزارها و سیستم ارائه شده در جدول ۱، انجام گردیده است. جهت مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی از دید سرعت همگرایی، زمان اجرا و کیفیت پاسخ‌ها به‌منظور برنامه‌ریزی مسیر سکوی خودکار، مقایسه‌ها با الگوریتم‌های ACO، BA، DE، ES، GA و PSO صورت گرفته است.

جدول ۱- جزئیات سیستم پیاده‌سازی

نام	مشخصات رایانه
CPU	Pentium IV processor
بسامد	1.7 GHz
RAM	512 MB
حافظه	160 GB
سیستم	Windows XP3
زبان	MATLAB R2012a (7.14)
نرم‌افزارها	ArcGIS 10.2 [Arc-Scene]

به منظور بررسی قابلیت روش پیشنهادی، از داده‌ها و پارامترهای اولیه یک مأموریت شبیه‌سازی شده امداد و نجات بر روی یک مدل DTM بهره‌گیری می‌شود. در این مدل، ضمن برطرف کردن خطاهای موجود، از فیلترهای آشکارساز به‌صورت تدریجی و برای نمایان‌سازی تغییرات جزئی ارتفاعی و لبه‌ها استفاده می‌شود. همچنین عملکرد الگوریتم‌ها در دو سناریو بررسی می‌شود: (الف) در سناریوی I، برنامه‌ریزی UAV به گونه ایست که مسیر بهینه را ضمن جستجو و تشخیص دست‌کم ۸ مجروح بر سطح DTM دنبال کند. (ب) در سناریوی II، UAV بایستی کوتاه‌ترین مسیر ممکن را با در نظر گرفتن تمامی قيود و به‌منظور گشت زنی، پایش شرایط محیطی و گردآوری اطلاعات پیمایش کند. در این سناریو عملیات جستجو انجام نمی‌گردد. در جدول ۲، مقادیر استاندارد

نتایج به دست آمده در سناریو II، کمترین انحراف از معیار و زمان اجرا مربوط به نتایج الگوریتم G-BFOA می‌باشد، انحراف از معیار پاسخ الگوریتم‌های BA، DE، PSO، ACO، BFOA، GA و ES در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند.



شکل ۴- مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها از دید زمان اجرا و دقت نتایج

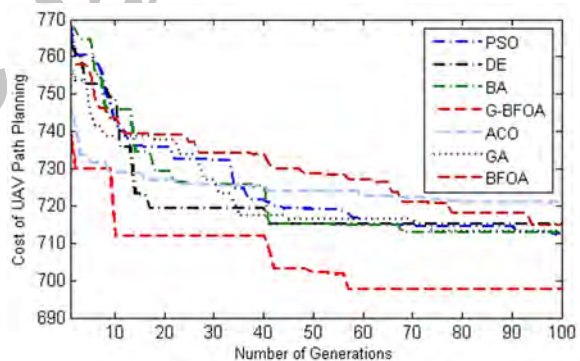
از دید زمان اجرا و انحراف معیار، ضعیف‌ترین عملکرد در سناریو I به ترتیب مربوط به الگوریتم‌های BFOA و GA بوده و در سناریوی II نیز به ترتیب از آن الگوریتم‌های GA و ES می‌باشد.

جدول ۳- زمان اجرا و انحراف معیار نتایج شبیه‌سازی

نتایج الگوریتم	سناریو I		سناریو II	
	Mean ± (std)	CPU(s)	Mean (± std)	CPU(s)
ACO	740.462 ± 3.14	25.7156	734.453 ± 7.95	15.6645
BA	737.699 ± 3.32	16.9652	726.674 ± 5.42	12.9432
DE	736.961 ± 2.87	15.6689	731.543 ± 5.83	13.6376
ES	738.382 ± 3.67	29.8393	732.952 ± 9.92	20.4464
GA	778.791 ± 7.88	36.3192	746.695 ± 9.53	25.7179
PSO	741.969 ± 4.03	15.5157	731.881 ± 5.94	19.9474
BFOA	749.823 ± 5.40	39.6593	736.783 ± 8.46	16.3536
G-BFO	732.663 ± 2.47	14.3438	725.326 ± 4.37	11.7443

نتایج شبیه‌سازی عملیات جستجو و نجات به وسیله سکوی پرنده خودکار برای سناریو I در شکل ۵ ارائه شده است. مطابق این سناریو، مکان ۸ مجروح ثابت روی DTM منطقه در نظر گرفته شده و خط سیر مقید پرواز بر پایه هر الگوریتم محاسبه گردید. پس از به دست آمدن نقاط مسیر بهینه توسط الگوریتم G-BFOA، مختصات نقاط لازم برای پدیدآوری مسیر، به سیستم یکسان با DTM، انتقال داده شد. جهت فراهم آوردن امکان پرواز در سراسر نقاط متعلق به خط سیر، فرآیند هموارسازی خم‌ها در نقاط همبندی و پیچ‌ها اجرا گردیده است. در نهایت به وسیله امکانات دیداری‌سازی نرم‌افزار ArcGIS 9.3، خط

کمتر از ۴۰ تکرار، نرخ همگرایی بیشتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها داشته است. این امر نشان می‌دهد که احتمال به دام افتادن الگوریتم در نقاط کمینه محلی کمتر از دیگر الگوریتم‌ها خواهد بود؛ اما نسخه بهبودیافته G-BFOA همچنان بهتر از الگوریتم BFOA می‌باشد؛ اما سرعت همگرایی آن در گام‌های اولیه، کمتر از الگوریتم DE است؛ اما با گذشت زمان و محاسبه ضرایب جذب و دفع مطابق معادلات توسعه داده شده، نرخ رشد سرعت الگوریتم نسبت به تمامی الگوریتم‌ها افزایش می‌یابد. همچنین با تراز پارامترهای الگوریتم‌ها، عملکرد بهتر از DE نیز در سراسر فرآیند جستجو در نتایج مشاهده شد. با مقایسه اجراهای پایایی، مشخص شد در این پیاده‌سازی‌ها حساسیت الگوریتم BFOA و ACO نسبت به تغییر پارامترهای مرزی قیود بیشتر است. همچنین الگوریتم‌های GA و BA با تنظیم پارامترها به صورت استاندارد، در برخی اجراها، به پاسخ بهینه همگرا نمی‌شوند و با افزایش پیچیدگی محیط مسئله، دچار نوسان در همگرایی می‌باشد.



شکل ۳- نمودار همگرایی الگوریتم‌های PSO، DE، BA، ACO، BFOA و G-BFOA برای مسئله برنامه‌ریزی مأموریت UAV در فضای 3D

جهت تسهیل مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها از دید زمان اجرا و دقت نتایج، علاوه بر شکل ۴، در جدول ۳ نیز زمان اجرا و انحراف از معیار میانگین نتایج متناظر با هر الگوریتم ارائه می‌شود. بر پایه نتایج سناریو I، الگوریتم پیشنهادی نسبت به دیگر الگوریتم‌ها از دقت بیشتری برخوردار است. همچنین زمان اجرای الگوریتم G-BFOA از دیگر الگوریتم‌ها کمتر است. از دیدگاه زمان اجرای الگوریتم‌ها، الگوریتم‌های PSO، DE، BA، ACO، ES، BFOA و GA در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. بر مبنای

۶- نتیجه گیری

به کارگیری الگوریتم‌های برنامه‌ریزی UAV، امری به شدت مورد نیاز در صنعت UAV و کاربردهای وابسته نظیر سنجش از دور، فتوگرامتری و جستجو و نجات مجروحین در شرایط مدیریت بحران می‌باشد. UAV با پوشش سامانمند نواحی که دسترسی نیروهای امداد زمینی به آن‌ها ممکن نیست، نقش تعیین کننده‌ای را در ارتقاء کیفیت مأموریت امداد و جستجوی مجروحین پس از وقوع مخاطرات طبیعی ایفا می‌کنند. در این پژوهش ضمن ارائه و به کارگیری الگوریتم پیشنهادی G-BFOA، نتایج برنامه‌ریزی UAV خودکار در مأموریت‌های امداد و نجات ارائه گردیده است. بر پایه پیاده‌سازی‌ها، الگوریتم پیشنهادی تحت دو سناریوی شبیه‌سازی شده امداد و نجات دارای سرعت همگرایی و دقت بیشتر و زمان اجرای کمتری نسبت به الگوریتم‌های BA، ACO، DE، ES، GA و PSO می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند عملکرد ممتازی جهت برنامه‌ریزی UAV خودکار در مأموریت‌های امداد و نجات مجروحین پس از مخاطرات طبیعی داشته باشد.

سیر محاسبه شده توسط الگوریتم G-BFOA بر فراز DTM منطقه تحت عملیات نمایش داده شده است. در شکل ۵، چهار گوش‌های آبی نشان‌دهنده مکان مجروحین ثابت می‌باشند. در کارهای آینده می‌توان با در نظر گرفتن پیچیدگی‌های محیطی از مسیرهای با تعداد بخش‌های متغیر، برای تولید جمعیت جدید استفاده کرد. هم‌چنین در صورت نیاز به برنامه‌ریزی بی‌درنگ، امکان توسعه الگوریتم‌های سریع‌تر نیز خواهد بود. در نتیجه، می‌توان شرایطی را در طراحی الگوریتم‌های تکاملی دیگر لحاظ نمود تا مرتبه پیچیدگی باز هم کاهش یابد.



شکل ۵- نتایج شبیه‌سازی پرواز بهینه در فضای 3D با الگوریتم G-BFOA در نرم‌افزار ArcGIS 10.2

مراجع

- [1] Ergezer, H. and Leblebicioğlu, K. (2013). "Path planning for UAVs for maximum information collection using evolutionary computation". IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. Vol 49, No.1, PP.502-520.
- [2] Goodrich, M., Morse, B., Gerhardt, D., Cooper, J., Quigley, M., Adams, J. and Humphrey, C. (2008). "Supporting wilderness search and rescue using a camera-equipped mini UAV" J. Field Robot. Vol. 25, No.1-2, PP.89-110.
- [3] Kapucu, N., Arslan, T., Demiroz, F. (2010). "Collaborative emergency management and national emergency management network." Disaster Prevention and Management. Vol.19, No.4, PP.452-468
- [4] Murphy, R. R., Steimle, E. et al. (2008). "Cooperative use of unmanned sea surface and micro aerial vehicles at Hurricane Wilma." Journal of Field Robotics. Vol.25, No.3, PP.164-180.
- [5] Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J., & Joswig, M. (2012). "UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results." Engineering Geology. Vol.128, PP.2-11.
- [6] Doherty, P. and Rudol, P. (2007). "A UAV search and rescue scenario with human body detection and geolocalization." in AI 2007: Advances in Artificial Intelligence (PP.1-13), Springer Berlin Heidelberg.
- [7] Goerzen, C., Kong, Z. and Mettler, B. (2010). "A survey of motion planning algorithms from the perspective of autonomous UAV guidance." Journal of Intelligent and Robotic Systems. Vol.57, No.1-4, PP.65-100.
- [8] Tomic, T., Schmid, K., Lutz, P., Domel, A., Kassecker, M., Mair, E. and Burschka, D. (2012). "Toward a fully autonomous uav: Research platform for indoor and outdoor urban search and rescue." Robotics & Automation Magazine, IEEE. Vol.19, No.3, PP.46-56.
- [9] Duan, H. and Li, P. (2014). "UAV Path Planning." In Bio-inspired Computation in Unmanned Aerial Vehicles (PP. 99-142). Springer Berlin Heidelberg.
- [10] Tisdale, J., Kim, Z. and Hedrick, J. K. (2009). "Autonomous UAV path planning and estimation." Robotics & Automation Magazine, IEEE. Vol.16, No.2, PP.35-42.
- [11] Zengin, U. and Dogan, A. (2007). "Real-time target tracking for autonomous UAVs in adversarial environments: a gradient search algorithm." IEEE Transactions on Robotics. Vol.23, No.2, PP.294-307.

- [12] Nikolos, I. K., Zografos, E. S. and Brintaki, A. N. (2007). "UAV path planning using evolutionary algorithms." In *Innovations in Intelligent Machines-1* (PP. 77-111). Springer Berlin Heidelberg.
- [13] Foo, J. L., Knutzon, J., Kalivarapu, V., Oliver, J. and Winer, E. (2009). "Path planning of unmanned aerial vehicles using B-splines and particle swarm optimization." *Journal of aerospace computing, Information, and communication*. Vol.6, No.4, PP.271-290.
- [14] Duan, H. and Huang, L. (2014). "Imperialist competitive algorithm optimized artificial neural networks for UCAV global path planning." *Neurocomputing*. Vol.125, PP.166-171.
- [15] Pehlivanoglu, Y. V. (2012). "A new vibrational genetic algorithm enhanced with a Voronoi diagram for path planning of autonomous UAV." *Aerospace Science and Technology*. Vol.16, No.1, PP.47-55.
- [16] Duan, H., Yu, Y., Zhang, X. and Shao, S. (2010). "Three-dimension path planning for UCAV using hybrid meta-heuristic ACO-DE algorithm." *Simulation Modelling Practice and Theory*. Vol.18, No.8, PP.1104-1115.
- [17] Duan, H. B., Zhang, X. Y., Wu, J. and Ma, G. J. (2009). "Max-min adaptive ant colony optimization approach to multi-UAVs coordinated trajectory replanning in dynamic and uncertain environments." *Journal of Bionic Engineering*. Vol.6, No.2, PP.161-173.
- [18] Hargraves, C. R. and Paris, S. W. (1987). "Direct trajectory optimization using nonlinear programming and collocation." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. Vol.10, No.4, PP.338-342.
- [19] Zhang, B., Liu, W., Mao, Z., Liu, J. and Shen, L. (2014). "Cooperative and geometric learning algorithm (CGLA) for path planning of UAVs with limited information." *Automatica*. Vol.50, No.3, PP.809-820.
- [20] Sathyaraj, B. M., Jain, L. C., Finn, A. and Drake, S. (2008). "Multiple UAVs path planning algorithms: a comparative study." *Fuzzy Optimization and Decision Making*. Vol.7, No.3, PP.257-267.
- [21] Heidari, A. A., Tolooee, A. and Abbaspour, R. A. (2013). "Path planning of an autonomous mobile multi-sensor platform in a 3D environment using newtonian imperialist competitive optimization method" *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-1/W3, Tehran, PP.191-196.
- [22] Heidari, A. A. and Abbaspour, R. A. (2014). "Optimal flight trajectory planning using improved evolutionary method for UCAV navigation in 3D constrained environments", *Aero2014*, Tehran, Iran.
- [23] Heidari, A. A. and Abbaspour, R. A. (2014). "Improved black hole algorithm for efficient low observable UCAV path planning in constrained aerospace." *Advances in Computer Science: an International Journal*. Vol.3, No.3, PP.87-92.
- [24] Heidari, A. A. and Abbaspour, R. A. (2014). "A gravitational black hole algorithm for autonomous UCAV mission planning in 3D realistic environments." *International Journal of Computer Applications*. Vol.95, No.9, PP.42-47.
- [25] Heidari, A. A. and Abbaspour, R. A. (2014). "A hybrid approach based on computational geometry and LCA algorithm for low observable UAV trajectory planning in dynamic environments", *Nimc2014*, Tabriz, Iran.
- [26] Heidari, A. A. and Abbaspour, R. A. (2014). "An efficient approach based on immunological computation to solve the NP-complete problem of autonomous UAV trajectory planning in 3D constrained aerospace." *Nimc2014*, Tabriz, Iran.
- [27] Heidari, A. A. and Abbaspour, R. A. (2014). "Fuzzy path planning for undetectable multi-sensor platforms based on improved imperialist competitive algorithm using chebyshev chaotic system", *ICFS2014*, Tabriz.
- [28] Kochersberger, K., Kroeger, K., Krawiec, B., Brewer, E. and Weber, T. (2014). "Post-disaster remote sensing and sampling via an autonomous helicopter." *Journal of Field Robotics*. Vol.31, No.4, PP.510-521.
- [29] Okumura, T., Suzuki, K., Fukuda, A., Kohama, A., Takasu, N., Ishimatsu, S. and Hinohara, S. (1998). "The Tokyo subway sarin attack: disaster management, Part 1: community emergency response." *Academic Emergency Medicine*. Vol.5, No.6, PP.613-617.
- [30] Das, S., Biswas, A., Dasgupta, S. and Abraham, A. (2009). "Bacterial foraging optimization algorithm: theoretical foundations, analysis, and applications." In *Foundations of Computational Intelligence*. Vol.3, PP.23-55, Springer Berlin Heidelberg.
- [31] Heidari, A. A. (2012). "Metaheuristic algorithms for optimization problems combined with pseudo code and implementation in ruby language (Persian)." *Satellite Press*, Tehran, ISBN: 978-600-92896-8-4.
- [32] Kim, D. H., Abraham, A. and Cho, J. H. (2007). "A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for global optimization." *Information Sciences*. Vol.177, No.18, PP.3918-3937.
- [33] Ali, E. S. and Abd-Elazim, S. M. (2011). "Bacteria foraging optimization algorithm based load frequency controller for interconnected power system." *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. Vol.33, No.3, PP.633-638.
- [34] Majhi, R., Panda, G., Majhi, B. and Sahoo, G. (2009). "Efficient prediction of stock market indices using adaptive bacterial foraging optimization (ABFO) and BFO based techniques." *Expert Systems with Applications*. Vol.36, No.6, PP.10097-10104.
- [35] Chen, H., Zhu, Y. and Hu, K. (2010). "Multi-colony bacteria foraging optimization with cell-to-cell communication for RFID network planning." *Applied Soft Computing*. Vol.10, No.2, PP.539-547.