به‌کارگیری الگوریتم NSGA -II برای حل مسائل مکانیابی چندهدفه[1]

بهرام امین‌زاده گوهرریزی - دانشیار گروه شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) قزوین، دانشکده معماری و شهرسازی، تهران.
سعید توحیدی‌راد[2] - کارشناس ارشد شهرسازی گرایش برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، دانشکده معماری و شهرسازی.
روشنک اسدی - کارشناس ارشد شهرسازی گرایش برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، دانشکده معماری و شهرسازی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۱

چکیده
مکانیابی کاربری‌ها یکی از مهمترین مسائل شهرسازی است که دارای مقیاس‌های متفاوتی می‌باشد. هنگامی‌که با یک مسئله مکانیابی کوچک مقیاس با شرایط و محدودیت‌های اندک روبه‌رو باشیم، می‌توان با استفاده از روش‌های سنتی به جواب رسید ولی زمانی که با یک مسئله بزرگ مقیاس مکانیابی با شرایط و محدودیت‌های زیاد روبه‌رو باشیم، مشکل بتوان بدون استفاده از هوش مصنوعی و الگوریتم‌های تکاملی، مکان بهینه یا حتی نزدیک به آن را در مقیاس زمان و هزینه قابل‌قبول به دست آورد. هدف این مقاله، معرفی یک تکنیک کارآمد و مناسب برای حل مسائل مکانیابی چندهدفه است. در پژوهش حاضر نوع تحقیق کاربردی و روش تحقیق توصیفی ـ تحلیلی است. به همین منظور یک مسئله مکانیابی فرودگاه برای یکی از شهرهای بزرگ کشور، به عنوان مطالعه موردی براساس الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب (NSGA -II) بررسی شده و بنا بر شاخص‌هایی مانند دسترسی آسان، کاهش آلودگی صوتی، میدان دید خلبان، دسترسی به تأسیسات و زیرساخت‌ها و ... به صورت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با شش تابع هدف و تعداد مشخصی شرایط مورد نیاز پیکربندی شده است. در نهایت با حل مسئله از طریق الگوریتم پیشنهادی، از میان ۲۰۰ جواب نهایی که شامل جبهه جواب‌های متفاوت بود، یک جبهه جواب با چهار نقطه به عنوان مکان بهینه برای احداث فرودگاه برگزیده شد. الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب(NSGA -II) که جزو روش‌های مستقیم حل مسائل مکانیابی چندهدفه می‌باشد، با توجه به سرعت و دقت بیشتر نسبت به سایر روش‌ها و همچنین ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم، به عنوان رهیافتی تازه در مسائل مکانیابی چندهدفه، جانشین مناسبی برای روش‌های تجزیه و روش‌های سنتی خواهد بود.

واژگان کلیدی: مکانیابی، الگوریتم NSGA -II، تصمیم‌گیری چندهدفه، فرودگاه.

۱ این مقاله برگرفته از پایان‌نامه سعید توحیدی راد در مقطع کارشناسی‌ارشد شهرسازی ـ برنامه‌ریزی شهری در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) با عنوان "ارزیابی روش‌های مکانیابی فرودگاه‌ها در تناسب با مسائل توسعه شهری(نمونه تحقیق: فرودگاه قزوین و الگوریتم ژنتیک)" است که در سال ۱۳۹۳، با راهنمایی دکتر بهرام امین‌زاده گوهرریزی مورد دفاع قرار گرفت.

۲ نویسنده مسئول مقاله: saeid.tr@gmail.com

۱. مقدمه

مکانیابی مراکز به معنی یافتن مکان مناسب برای مراکز جدید و یا فعلی، با در نظر گرفتن مراکز موجود و محدودیت‌هایی است که وجود دارند، به طوری که طرح در اقتصادی‌ترین مکان ممکن به بهره‌برداری برسد و رقابت‌پذیری آن به عنوان یکی از اهداف کلیدی، مدنظر باشد. این تصمیم باید با سیاست‌های خاص سرمایه‌گذاران و دولت هماهنگ بوده و تا حد زیادی نیازهای کارخانه و شرایط محیطی را برطرف سازد (Forghani et al., 2008: 2).

انتخاب روش مکانیابی با توجه به نوع مسئله مکانیابی و اهمیت کاربری مورد نظر تعیین می‌شود. برای مثال به منظور انتخاب یک مکان از بین چندین گزینه محدود باید از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه[1] استفاده کرد ولی وقتی هیچ گزینه اولیه‌ای برای مکانیابی وجود ندارد، باید از روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه[2] استفاده کرد (Asgharpour, 2011: 1-9).

امروزه استفاده از تکنیک‌های دقیق محاسباتی در مکانیابی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. دلیل این امر این است که تصمیم‌گیری‌های مدیران این زمینه، از عوامل کمی و کیفی مختلف تأثیر می‌پذیرد، که عموماً هم با یکدیگر در تعارض‌اند، به طوری که ممکن است بهینه‌سازی یکی از عوامل موجب تخریب عامل دیگر شود. بدین منظور، برای پیشگیری از خطا در تصمیم‌گیری، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندهدفه در سال‌های گذشته موردتوجه قرار گرفته و با پیشرفت روزافزون همراه بوده است.

روش‌های متفاوتی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه وجود دارد که به دو دسته کلی روش‌های تجزیه[3] و روش‌های مستقیم تقسیم می‌شوند. بسیاری از پژوهش‌های اولیه در زمینه مسائل مکانیابی چندهدفه با استفاده از روش‌های تجزیه انجام شده است. برای مثال می‌توان به مقاله ژانگ ژنگ یانگ و مودی با عنوان مکانیابی پایانه‌های حمل‌ونقل شهری و مراکز خرید در یک شهر چینی اشاره کرد که در سال ۲۰۰۹ به چاپ رسید (Yang & Moodie, 2009). در این روش‌ها، مسئله بهینه‌سازی چندهدفه ابتدا به یک مسئله تک‌هدفه تبدیل شده و سپس حل می‌شود. ولی در روش‌های مستقیم مسئله بهینه‌سازی چندهدفه به همان صورت چندهدفه حل می‌شود. روش‌های تجزیه شامل چهار تکنیک مجموع وزن‌دار[4]، برنامه‌ریزی آرمانی[5]، رسیدن به هدف[6] و تبدیل به قید[7] می‌باشند (Coello Coello et al., 2007: 51-53) که هر کدام از این چهار تکنیک با تدابیر خاصی سعی در ساده کردن مسئله و سپس حل آن دارند. این روش‌ها به منظور تبدیل یک مسئله چندهدفه به یک مسئله تک‌هدفه ، به اجبار یک‌سری از اطلاعات فضای تصمیم را از دست می‌دهند که برای حل این مشکل باید مسئله چندین بار حل شود که بسیار وقت‌گیر است. همچنین هر باری که مسئله با این روش‌ها حل شود، یک جواب متفاوت به دست می‌آید. ولی روش‌های مستقیم با این مشکلات روبه‌رو نیستند و بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر می‌باشند.

هدف از این پژوهش معرفی یک تکنیک کارآمد از روش‌های مستقیم برای حل تمامی مسائل مکانیابی چندهدفه است که مشکلات روش‌های تجزیه و سنتی در آن حل شده است.

۲. مبانی نظری

مدل‌های چندهدفه به منظور طراحی در یک مجموعه پیوسته از جواب‌ها به کار می‌روند و در نهایت، یک مدل ریاضی را در اختیار می‌گذارند که حل مدل می‌تواند گزینه‌های طراحی را در اختیار برنامه‌ریز قرار دهد. در این مدل‌ها، مسئله ابتدا با بیان ریاضی، مدل‌سازی و آن‌گاه حل می‌شود (Cao et al, 2011: 1951-1953; Huy& Kappas,2010: 647). با توجه به این که در این‌گونه مدل‌ها هم‌زمان چند هدف را باید بهینه کرد، می‌توان ابتدا یکی از روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی یا برنامه‌ریزی سازشی[8] را برای تبدیل آن به مدل تک‌هدفه به کار گرفت و سپس مسئله را با استفاده از تکنیک‌های موجود حل کرد (Qian et al., 2010:2). در این نوع مدل‌های تصمیم‌گیری با توجه به این که مدل ریاضی مسئله با افزایش تعداد شاخص‌ها و ابعاد زمین به صورت نمایی بزرگ می‌شود، به نظر می‌رسد روشی برای حل دقیق مسئله در زمان معقول وجود نخواهد داشت. این نوع مسائل که به مسائل با مرتبه زمانی غیر چندجمله‌ای مشهورند، به طور کلی با استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و الگوریتم‌های فراابتکاری حل می‌شوند. این فرآیندها حل جواب بهینه را تضمین نمی‌کنند، اما تنها روش‌های موجود برای حل این‌گونه مسائل‌اند. روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه شامل الگوریتم ژنتیک (Cao Et al, 2012: 257-269; Stewart Et al., 2004: 2293-2313; Porta et al., 2013: 45-58)، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (Durillo et al., 2009: 495-509)، الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی (Zhou & Civco,1996:1287-1295)، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (Duh & Brown,2007: 253-281)، الگوریتم کلونی مورچگان (Liu Et al., 2012: 1325-1343)، الگوریتم جست‌وجوی ممنوع (Liu & Lan,2010:1133-1129)، جست‌وجوی همسایگی متغیر (Yin & Wang,2012: 489-498) و... می‌باشند.

۲،۱. روش‌های حل یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه

روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه به دو دسته کلی روش‌های تجزیه و مستقیم تقسیم می‌شوند.

۲،۱،۱. روش‌های تجزیه

این روش‌ها که مسئله بهینه‌سازی چندهدفه را به مسئله تک‌هدفه تبدیل می‌کنند، خود شامل چهار دسته کلی به شرح ذیل می‌باشند:

- روش مجموع وزن‌دار: این روش ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین روش تجزیه می‌باشد و برای هر یک از توابع هدف

1 Multi-Attribute Decision Making
2 Multi-Objective Decision Making
3 Decomposition
4 Weighted Sum
5 Goal Programming
6 Goal Attainment
7 ε - Constraint
8 Compromise Programming

بر اساس اهمیت‌شان یک وزن تعریف می‌کند که به شکل زیر می‌باشد:

اگر ما یک تابع به صورت $\min f_{i(x)}\ \forall i\in\{1,2,3,\ldots,m\}$ داشته باشیم، می‌توانیم این تابع را به این شکل حل کنیم:

$$\min f_{ws(x)}=min\sum_{i=1}^{m} w_i f_i(x)$$

- برنامه‌ریزی آرمانی: در این روش ابتدا یک نقطه ایده‌آل(آرمانی) تعریف می‌شود و سپس سایر نقاط براساس نزدیکی به این نقطه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که به شکل زیر می‌باشد:

اگر ما یک تابع به صورت $\min f_{i(x)}\ \forall i\in\{1,2,3,\ldots,m\}$ داشته باشیم و یک نقطه آرمانی(ایده‌آل) به صورت t_i زیر داشته باشیم که $t=(t_1, t_2, \ldots, t_m)$، آن‌گاه مسئله به صورت زیر حل می‌شود:

$$\min \sum_{i=1}^{m} w_i |f_i(x)-t_i|$$

که

$$w_i=\frac{1}{|f_i^{max}-t_i|}$$

- رسیدن به هدف: این روش بسیار شبیه به روش برنامه‌ریزی آرمانی می‌باشد. در این روش ابتدا یک نقطه ایده‌آل(آرمانی) تعریف می‌شود. سپس نقاط بر اساس بیشترین فاصله‌شان از نقطه ایده‌آل مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و نقطه‌ای که بیشترین فاصله‌اش از نقطه آرمانی نسبت به فاصله سایر نقاط کمتر باشد، به عنوان بهترین نقطه انتخاب می‌شود که به شکل زیر می‌باشد:

اگر ما یک تابع به صورت $\min f_{i(x)}\ \forall i\in\{1,2,3,\ldots,m\}$ داشته باشیم، می‌توانیم این تابع را به این شکل حل کنیم:

$$\min d$$

که

$$w_i(f_i(x)-t_i)\leq d$$

- روش تبدیل به قید: در این روش با تعیین قید یا قیدهایی یک سری از فضای مسئله حذف و از پیچیدگی آن کاسته می‌شود و به فضای قید اضافه می‌شود که به شکل زیر می‌باشد:

اگر ما یک تابع به صورت $\min f_{i(x)}\ \forall i\in\{1,2,3,\ldots,m\}$ داشته باشیم، می‌توانیم این تابع را به شکل زیر حل کنیم(Coello Coello Et al, 2007:31-47).

$$\min f_r(x)$$

که

$$f_i(x)\leq \epsilon_i \quad i\neq r$$

۲،۱،۲. روش‌های حل مستقیم

این روش‌ها که بر خلاف روش‌های تجزیه، مسئله بهینه‌سازی چندهدفه را به همان صورت چندهدفه حل می‌کنند، شامل الگوریتم‌های تکاملی[1] مانند NSGA-II[2]، MOPSO[3] و... می‌باشند (Ibid:61-62).

۲،۲. مقایسه روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه

بر اساس یافته‌های نویسندگان مقاله، دو تفاوت اساسی این دو روش به شرح ذیل است:

- در روش‌های تجزیه برای تبدیل مسئله به یک مسئله تک‌هدفه، به اجبار یک‌سری از اطلاعات فضای تصمیم از دست می‌رود که برای حل این مشکل باید مسئله چندین بار حل شود که بسیار وقت‌گیر است. ولی روش‌های مستقیم چنین مشکلی ندارند و بسیار سریع می‌باشند.
- روش‌های تجزیه هر باری که حل شوند، یک جواب متفاوت می‌دهند ولی روش‌های مستقیم همیشه مجموعه‌ای از جواب‌ها می‌دهند.

بنابراین با توجه به دلایل بیان شده، روش‌های مستقیم بهتر و مناسب‌تر می‌باشند.

۲،۳. الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب(NSGA-II)

الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های اکتشافی حل مسئله است که از مدل‌سازی زیستی جمعیت جانداران به وجود آمده است. در این الگوریتم، خصوصیات نسل جانداران به مقدار توابع هدف و بهبود در خصوصیات نسلی در پی گذشت زمان تشبیه و ظهور نسل‌های جدید از آمیزش نسل‌های قبلی به بهبود در مقدار توابع هدف مانند شده است(Bennett et al., 1999:52-53).

به عبارت دیگر این الگوریتم از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول یا جواب بهینه به منظور پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کند(Alborzi, 2009:13-14).

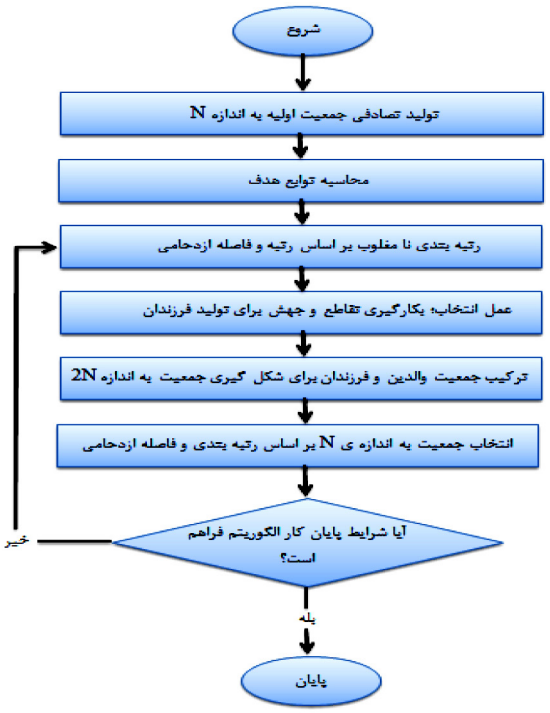
روش کار و الگوریتم کلی NSGA-II که یکی از حالت‌های چندهدفه الگوریتم ژنتیک می‌باشد، به شرح ذیل است:

۱. ایجاد جمعیت اولیه
۲. محاسبه معیارهای برازندگی
۳. مرتب کردن جمعیت بر اساس شرط‌های غلبه کردن
۴. محاسبه فاصله ازدحامی[4]
۵. انتخاب: به محض این که جمعیت اولیه بر اساس شرط‌های غلبه کردن مرتب شد، مقدار فاصله ازدحامی در آن محاسبه خواهد شد و انتخاب از میان جمعیت اولیه آغاز می‌شود. این انتخاب بر اساس دو اِلمان صورت می‌پذیرد:
   - رتبه جمعیت: جمعیت‌ها در رتبه‌های پایین‌تر انتخاب می‌شوند.
   - محاسبه فاصله: با فرض این که p و q دو عضو از یک رتبه باشند، عضوی انتخاب می‌شود که فاصله ازدحامی بیشتری دارد. گفتنی است که اولویت انتخاب، ابتدا با رتبه و سپس بر اساس فاصله ازدحامی است.
۶. انجام تقاطع[5] و جهش[6] برای تولید فرزندان جدید.
۷. تلفیق جمعیت اولیه و جمعیت به دست آمده از تقاطع و جهش.
۸. جایگزین کردن جمعیت والدین با بهترین اعضای جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل. در مرحله نخست، اعضای رتبه‌های پایین‌تر جایگزین والدهای قبلی می‌شوند و سپس بر

1 Evolutionary Algorithms
2 Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II
3 Multi-Objective Particle Swarm Optimization
4 Crowding Distance
5 Crossover
6 Mutation

اساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. جمعیت اولیه و جمعیت ناشی از تقاطع و جهش، ابتدا بر حسب رتبه دسته‌بندی می‌شوند و قسمتی از آنها که دارای رتبه پایین‌تری هستند، حذف می‌گردند. در مرحله بعد، جمعیت باقیمانده بر اساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. در اینجا مرتب‌سازی داخل یک جبهه انجام می‌شود.

۹. تمامی مراحل تا نسل(و یا شرایط بهینگی) مورد نظر تکرار می‌شوند (Coello Coello et al, 2007:92-93).



تصویر شماره۱: نحوه کار الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب(NSGA-II)

منبع: (Senthilkumar Et al, 2012:934)

۲،۴. دلایل انتخاب الگوریتم NSGA-II نسبت به سایر الگوریتم‌های تکاملی

این الگوریتم برخی از مشکلات الگوریتم‌های پیشین را حل کرده است. برخی از تفاوت‌های این الگوریتم با سایر الگوریتم‌ها به شرح ذیل است:

- راه حل سریع‌تری در مقایسه با سایر روش‌ها در رتبه‌بندی دارد و پیچیدگی‌های محاسباتی الگوریتم‌های قبلی در آن از بین رفته است. با فرض این که M تعداد توابع هدف و N اندازه جمعیت باشد، پیچیدگی محاسباتی در الگوریتم‌های قبلی $O(MN^3)$ بوده است، در صورتی که در این روش این میزان $O(MN^2)$ است (Bui & alam, 2008:58-63).
- از فاصله ازدحامی برای به دست آوردن جبهه جواب یکنواخت‌تری از سایر الگوریتم‌ها و تخمین دانسیته نقاط حول جواب‌ها استفاده می‌کند. گفتنی است که فاصله ازدحامی، فاکتوری است که برای انتخاب بهتر جواب‌ها از نظر پراکندگی بر روی یک جبهه استفاده می‌گردد و به صورت زیر تعریف می‌شود:
- برای نقاط ابتدا و انتهای یک جبهه مقدار آن بی‌نهایت فرض می‌شود.
- برای سایر نقاط جبهه، از 2 تا k-1 به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$CD[i]=(f_m^{i+1}-f_m^{i-1}) / (f_m^{max}-f_m^{min})$$

که در آن CD[i]، فاصله ازدحامی فرد iام بر روی جبهه F، f_m^i مقدار تابع هدف mام در i امین فرد در جبهه F و f_m^{max}، f_m^{min} به ترتیب کمترین مقدار و بیشترین مقدار تابع هدف m در جبهه F است. جوابی بهتر است که فاصله ازدحامی بیشتری داشته باشد (Masumi et al., 2010:6).

۳. روش شناسی تحقیق

روش تحقیق در این مقاله، توصیفی-تحلیلی و نوع تحقیق، کاربردی است. گردآوری اطلاعات مورد نیاز از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و استفاده از داده‌های آماری و نقشه‌های مربوطه انجام گرفته است.

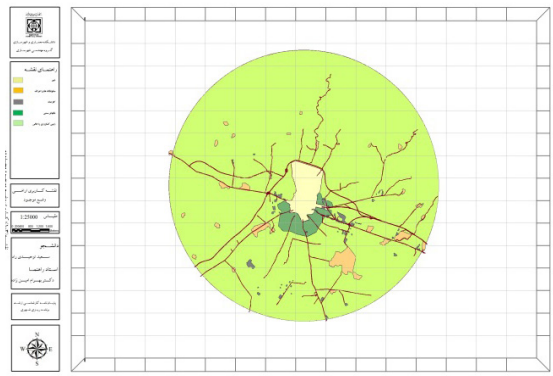
در این مقاله از الگوریتم NSGA-II برای حل مسئله مکانیابی فرودگاه قزوین به عنوان یک مسئله مکانیابی چندهدفه استفاده گردید. به منظور تعیین شاخص‌های مؤثر در مکانیابی فرودگاه، ابتدا نمونه‌های پیشین و آیین‌نامه‌های مکانیابی فرودگاه‌ها بررسی شد و سپس با استفاده از قضاوت خبرگان به روش دلفی، شاخص‌های مؤثر در مکانیابی فرودگاه قزوین تعیین گردید. به منظور بررسی این شاخص‌ها در محدوده مطالعاتی که دایره‌ای به شعاع ۱۵ کیلومتر از مرکز شهر قزوین است، داده‌ها و نقشه‌های مربوطه در محیط نرم‌افزار ArcGIS وارد گردید. همچنین به منظور مدل‌سازی و برنامه‌نویسی توابع هدف مسئله و اجرای الگوریتم از یک کد کامپیوتری در محیط نرم‌افزار Matlab R2010a استفاده شد.

تفاوت اصلی پژوهش حاضر با سایر مقالاتی که از این الگوریتم برای مکانیابی استفاده کرده‌اند، نحوه استفاده از این الگوریتم برای مکانیابی یک کاربری ویژه و همچنین نحوه تعیین شاخص‌های مکانیابی مسئله که با استفاده از روش قضاوت خبرگان از میان متخصصان بومی بوده است، می‌باشد. برای مثال در مقاله خانم معصومی و همکاران با عنوان کاربرد الگوریتم ژنتیک چندهدفه در مطالعات مکانیابی کاربری‌های صنعتی، این مطلب که دقیقاً مکانیابی چه نوع صنعت بزرگی مدنظر می‌باشد، بیان نشده است. بلکه فقط به طور کلی کاربرد این الگوریتم در یک مسئله مکانیابی با یک سری شاخص‌های مکانیابی کلی و مشترک برای تمامی صنایع بزرگ بیان شده است که با توجه به این که هر صنعت بزرگ، شاخص‌های مکانیابی ویژه و منحصر به فردی دارد، نمی‌تواند به خوبی بیانگر توانایی الگوریتم NSGA-II در حل یک مسئله دقیق و اجرایی مکانیابی چندهدفه باشد. اما در پژوهش حاضر از این الگوریتم در مکانیابی یک کاربری ویژه با شاخص‌های دقیق و مشخص استفاده شده است که به خوبی می‌تواند بیانگر توانایی این الگوریتم در حل مسائل دقیق و اجرایی مکانیابی چندهدفه باشد.

۴. نمونه موردی تحقیق

شهر قزوین مرکز شهرستان قزوین، بر طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ جمعیتی در حدود ۳۸۱ هزار و ۵۹۸ نفر داشته و در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز قرار گرفته است. شهرستان بوئین زهرا در جنوب، شهرستان تاکستان در جنوب غرب، استان تهران در شرق، استان زنجان در غرب و استان گیلان و مازندران در شمال آن قرار گرفته‌اند. موقعیت حوزه استحفاظی شهر در ′۵۵ °۴۹ تا ′۱۰ °۵۰ طول شرقی و ′۰۰ °۳۶ تا ′۲۲ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. اتوبان تهران ـ زنجان از شمال و راه‌آهن تهران ـ زنجان نیز از جنوب شهر می‌گذرد. شهرک صنعتی البرز در جنوب شرقی و شهرک صنعتی لیا در جنوب شهر واقع شده است. دشت قزوین بخش‌های غربی، شرقی و جنوبی شهر را فراگرفته است (City and Planning Consulting engineers, 2011: 47).

به منظور استفاده بهینه از قابلیت‌های الگوریتم پیشنهادی، ابتدا محدوده مورد مطالعه که دایره‌ای به مساحت ۷۰ هزار و ۶۵۰ هکتار و به شعاع ۱۵ کیلومتر از مرکز شهر قزوین می‌باشد، به ۲۹۲۰ گرید ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر (۲۵ هکتار) تقسیم‌بندی شد.



تصویر شماره ۲: کاربری اراضی وضع موجود محدوده

۴،۱. عوامل مؤثر در مکانیابی فرودگاه

برای تعیین عوامل مؤثر در مکانیابی فرودگاه قزوین، ابتدا عوامل مؤثر در مکانیابی فرودگاه در نمونه‌های پیشین و آیین‌نامه‌ها بررسی و سپس با استفاده از قضاوت خبرگان به روش دلفی نظر متخصصان بومی برای عوامل مؤثر در مکانیابی فرودگاه قزوین ارزیابی شد. این عوامل شامل: فاصله تقریبی تا فرودگاه‌های دیگر، دسترسی آسان به فرودگاه، جهت‌گیری مناسب در برابر باد، توپوگرافی و شیب، دسترسی به تأسیسات و زیرساخت‌ها، میدان دید خلبان، کاهش آلودگی صوتی و... می‌باشد (Wells & Young, 2004: 389-400; California department of transportation, 2011: 27-69). با توجه به این که برای یک سری از این فاکتورها استاندارد و مقدار خاصی وجود دارد ولی برای برخی دیگر از فاکتورها نمی‌توان مقدار مشخصی در نظر گرفت و باید کمینه یا بیشینه شوند، در مقاله حاضر عوامل مؤثر در مکانیابی فرودگاه قزوین به دو قسمت شرایط مشخص و توابع هدف تقسیم شده است. جدول شماره ۱ فهرست شرایط مورد نیاز و جدول شماره ۲ فهرست توابع هدف را نشان می‌دهد. در ضمن بیان این نکته الزامی است که به دلیل عدم دسترسی به اطلاعاتی که قابل انتقال برای هر گرید باشد، ناچار به تقلیل پارامترهای مسئله شدیم.

۴،۲. شرایط موردنیاز برای مکانیابی فرودگاه قزوین

هر کدام از فاکتورهای بیان شده در جدول شماره ۱ دارای استانداردهایی است که از منابع مربوط استخراج گردیده‌اند. برای ورود شرایط در مسئله، گریدهایی که در شرایط فوق صدق نمی‌کردند به همراه گریدهای شامل شهر و باغ‌های سنتی و سکونتگاه‌های اطراف، از فضای تصمیم مسئله حذف شدند. برای مثال، زمین‌هایی که دارای شیب بیش از ۱۰ درصد می‌باشند، برای استقرار فرودگاه مناسب نیستند. بنابراین با استفاده از تحلیل‌های GIS، پس از تهیه نقشه شیب محدوده، گریدهایی که شیب یکنواخت آنها بالای ۱۰ درصد بود، از فضای تصمیم حذف

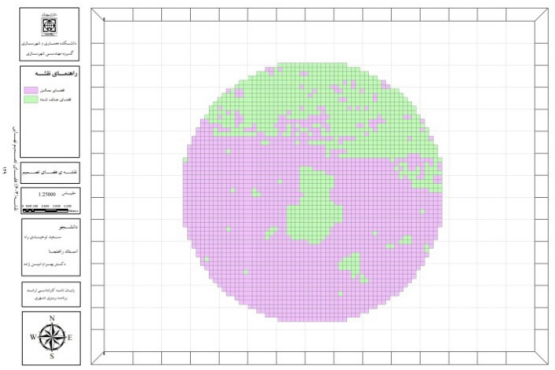
جدول شماره ۱: فهرست شرایط مورد نیاز برای یافتن مکان بهینه فرودگاه قزوین

اهداف	شاخص
فاصله تقریبی تا فرودگاه‌های دیگر	فاصله تقریبی تا فرودگاه‌های اطراف
دسترسی آسان به فرودگاه	حداکثر زمان دسترسی به فرودگاه ۳۰ دقیقه (حداکثر فاصله از مرکز شهر: ۱۵ کیلومتر)
جهت‌گیری مناسب در برابر باد	مکانیابی فرودگاه در امتداد جهت وزیدن باد به شهر
توپوگرافی و شیب	شیب مناسب تا ۱۰ درصد
میدان دید (حوزه دید)	عدم قرارگیری در داخل دره‌ها (به علت تشکیل مه)

جدول شماره ۲: فهرست توابع هدف برای یافتن مکان بهینه فرودگاه قزوین

اهداف	شاخص
دسترسی آسان به فرودگاه	نزدیکی به راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها
میدان دید (حوزه دید)	دوری از کارخانجات صنعتی
کاهش آلودگی صوتی	دوری از شهر و مناطق مسکونی اطراف
	نزدیکی به زمین‌های کشاورزی و خالی
دسترسی به تأسیسات و زیرساخت‌ها	نزدیکی به خطوط انتقال برق و نیرو
	نزدیکی به خط لوله انتقال گاز
حفظ باغ‌های سنتی	دوری از باغ‌های سنتی

شدند. به عنوان نمونه‌ای دیگر، به منظور این که دود و غبار شهر در مسیر مخالف فرودگاه حرکت نماید، بررسی جهت وزش باد غالب ضروری است. بدین منظور با بررسی بادهای فصلی و بررسی باد غالب شهر که از سمت جنوب شرقی می‌باشد، این نتیجه حاصل شد که قسمت شمال غربی محدوده که دقیقاً دود و غبار شهر به این سمت منتقل می‌شود، برای ساخت فرودگاه مناسب نیست. بنابراین از فضای تصمیم مسئله حذف می‌شود. با اعمال این تغییرات، از ۲۹۲۰ گرید موجود، ۹۳۱ گرید مطابق دلایل بیان شده، حذف شده و ۱۹۸۹ گرید باقی می‌ماند. ۱۹۸۹ گرید باقی مانده فضای تصمیم نهایی برای مکانیابی فرودگاه قزوین است که مطابق تصویر شماره ۳ می‌باشد.



تصویر شماره ۳: فضای تصمیم نهایی مسئله

۴،۳. توابع هدف موردنیاز برای مکانیابی فرودگاه قزوین

پس از تعیین فضای تصمیم نهایی، حال باید توابع هدف مسئله تعریف شوند. در توابع هدف همان‌گونه که در تصویر شماره ۲ مشاهده می‌شود، به علت این که باغ‌های سنتی قزوین تقریباً چسبیده به نیمه جنوبی شهر می‌باشند، توابع هدف دوری از باغ‌های سنتی و دوری از شهر به شکل یک تابع واحد و تابع هدف دوری از مناطق مسکونی اطراف به شکل یک تابع جداگانه دیگر فرمول‌نویسی شده‌اند. همچنین با توجه به تصویر شماره ۲، سه تابع هدف دوری از شهر و باغ‌های سنتی، دوری از مناطق مسکونی اطراف و دوری از کارخانجات صنعتی، باعث می‌شود که مکان انتخابی، نزدیک زمین‌های کشاورزی و خالی باشد. به همین دلیل دیگر فرمولاسیون تابع هدف نزدیکی به زمین‌های کشاورزی و خالی ضرورت ندارد و سایر توابع هدف این هدف را نیز برآورده می‌کنند. توابع هدف مسئله به شرح ذیل می‌باشند.

۱. نزدیکی به راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها: با توجه به این که دسترسی آسان به فرودگاه یکی از فاکتورهای مهم از نظر صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌باشد، بنابراین گریدهایی که کمترین فاصله را با راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها دارند، در اولویت قرار می‌گیرند.

$$f_1 = \min \left[(x_m - x_r)^2 + (y_m - y_r)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

رابطه(۱)

که:

x_m و y_m: x و y مختصات هر نقطه‌ای در گریدهای فضای ممکن تصمیم و x_r و y_r: x و y مختصات مراکز هر یک از گریدهایی که راه‌های اصلی یا بزرگراه‌ها از آنها می‌گذرند.

۲. دوری از کارخانجات صنعتی: کارخانجات صنعتی با دودها و آلاینده‌هایی که ایجاد می‌کنند، میدان دید خلبان را کاهش می‌دهند که این امر بسیار خطرناک است، بدین منظور مکان فرودگاه باید از این کارخانجات تا حد امکان دور باشد. بر این اساس گریدهایی که دارای بیشترین فاصله از کارخانجات صنعتی می‌باشند، در اولویت قرار می‌گیرند.

$$f_2 = \max \left[(x_m - x_f)^2 + (y_m - y_f)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

رابطه(۲)

که:

x_f و y_f: x و y مختصات مراکز هر یک از گریدهایی که بیش از ۱۰ درصد مساحتشان را کارخانجات صنعتی تشکیل می‌دهند.

۳. نزدیکی به خطوط انتقال برق و نیرو: یکی از عوامل مهم در مکانیابی فرودگاه‌ها، هزینه‌های ناشی از برق‌رسانی به فرودگاه‌ها می‌باشد که نزدیکی به خطوط انتقال برق(نیرو) این هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. بدین منظور گریدهایی که دارای کمترین فاصله از خطوط انتقال نیرو می‌باشند، در اولویت قرار می‌گیرند. بیان این نکته الزامیست که حریم این تأسیسات جزو فضای جواب نمی‌باشد و از فضای جواب حذف می‌شود.

$$f_3 = \min \left[(x_m - x_p)^2 + (y_m - y_p)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

رابطه(۳)

که:

x_p و y_p: x و y مختصات مراکز هر یک از گریدهایی که خطوط انتقال برق و نیرو از آنها می‌گذرند.

۴. دوری از مناطق مسکونی اطراف شهر: آلودگی صوتی یکی از معضلات و پیامدهای ناخوشایند فرودگاه‌هاست. برای کاهش آلودگی صوتی، مکان فرودگاه باید تا حد امکان از مناطق مسکونی دور باشد. بدین منظور، گریدهای داخل مناطق مسکونی از فضای تصمیم حذف می‌شوند و گریدهایی که بیشترین فاصله را از مناطق مسکونی دارند، در اولویت قرار می‌گیرند.

$$f_4 = \max \left[(x_m - x_R)^2 + (y_m - y_R)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

رابطه(۴)

که:

x_R و y_R: x و y مختصات مراکز هر یک از گریدهایی که بیش از ۱۰ درصد مساحتشان را مناطق مسکونی تشکیل می‌دهد.

۵. نزدیکی به خط لوله انتقال گاز: از عوامل مهم دیگر در مکانیابی فرودگاه که هزینه‌ها را کاهش می‌دهد، نزدیکی به خطوط انتقال گاز است. با توجه به این که خط لوله اصلی انتقال گاز(لوله کلاس D) در خارج از محدوده و در فاصله ۳/۵ کیلومتری از محدوده واقع شده است، در تصویر شماره ۳ خطی موازی با خط لوله گاز بر محدوده مماس شده و کمترین فاصله از این خط، معیار اولویت‌بندی گریدها براساس این تابع هدف می‌باشد.

$$f_5 = \min\left[(x_m - x_G)^2 + (y_m - y_G)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

رابطه(۵)

که:

x_G و y_G: x و y مختصات مراکز هر یک از گریدهایی که خط موازی با خط لوله اصلی انتقال گاز از آنها می‌گذرد.

۶. دوری از شهر و باغ‌های سنتی: باغ‌های سنتی قزوین که جزو میراث فرهنگی قزوین است، از عناصر هویت‌بخش شهر قزوین می‌باشد. بنابراین دوری از این باغ‌ها از عوامل مهم مختص مکانیابی فرودگاه قزوین است. همچنین برای کاهش آلودگی صوتی، مکان فرودگاه باید تا حد امکان از شهر دور باشد. بدین منظور گریدهای داخل باغ‌های سنتی و شهر از فضای تصمیم حذف شده و گریدهایی که دارای بیشترین فاصله از این باغ‌ها و شهر می‌باشند، در اولویت قرار می‌گیرند.

$$f_6 = \max\left[(x_m - x_{cg})^2 + (y_m - y_{cg})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

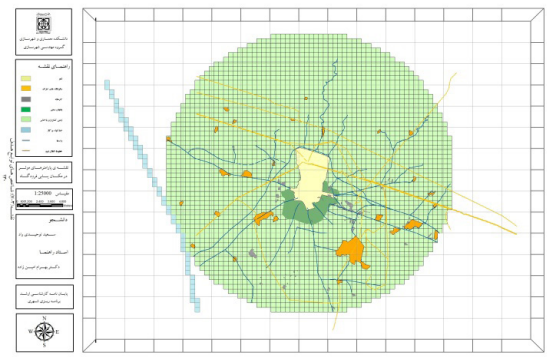
رابطه(۶)

که:

x_{cg} و y_{cg}: x و y مختصات مراکز هر یک از گریدهایی که بیش از ۱۰ درصد مساحتشان را شهر یا باغ‌های سنتی تشکیل می‌دهند.

با توجه به این که الگوریتم این پژوهش بر اساس کمینه‌سازی تعریف شده است، بنابراین تمام توابع بیشینه‌سازی باید به صورت کمینه در مسئله بیان شوند که به صورت زیر می‌باشد:

$$f = (f_1, \frac{1}{f_2}, f_3, \frac{1}{f_4}, f_5, \frac{1}{f_6})$$



تصویر شماره ۴: شاخص‌های توابع هدف

۴،۴. تعریف المان‌های الگوریتم NSGA-II

المان‌های الگوریتم ژنتیک به کار رفته تشریح خواهد شد.

۱. جمعیت اولیه: با این که فضای ممکن تصمیم شامل ۱۹۸۹ گرید است، ولی به منظور رعایت خاصیت تصادفی بودن الگوریتم، تعداد جمعیت اولیه در این مسئله، ۲۰۰ نقطه می‌باشد.

۲. ژن‌ها: هر نقطه‌ای در گریدهای فضای ممکن به عنوان ژن در نظر گرفته می‌شود.

۳. کروموزوم‌ها: مجموعه‌ای از ژن‌ها(مجموعه‌ای از نقاط در گریدهای فضای ممکن) که مشخص‌کننده یک مجموعه جواب هستند، به عنوان کروموزوم در نظر گرفته شده‌اند. در الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه، در هر اجرا می‌توان به مجموعه‌ای از جواب‌ها دست یافت. همین امر سبب می‌شود که در هر تکرار، برحسب این‌که چند مجهول در مسئله تعریف شده، به ناحیه‌ای از جواب رسید(Engelbrecht, 2007:129-132). در این مسئله تعداد مجهول‌ها بیش از یک ژن انتخاب می‌شود تا بتوان از المان‌های تقاطع و جهش برای ایجاد جمعیت جدید استفاده کرد و به یک ناحیه جواب دست یافت.

۴. انجام تقاطع و جهش: در الگوریتم NSGA-II، برای تولید جواب‌های بهتر در نسل‌های بالاتر لازم است که تقاطع و جهش انجام شود(Coello Coello Et al, 2007:25-28; Haupt & Haupt,2004:110-124). در مسئله حاضر از تقاطع خطی و جهش ساده استفاده شده است.

۵. تعداد تکرار: تکرار الگوریتم، آن را به سمت بهینه شدن سوق می‌دهد. تعیین تعداد تکرار الگوریتم به این امر بستگی دارد که در چه تکراری شرایط بهینگی محقق شود. در بررسی‌های انجام شده در تکرار ۲۰۰ شرایط بهینگی الگوریتم این مسئله محقق شده است.

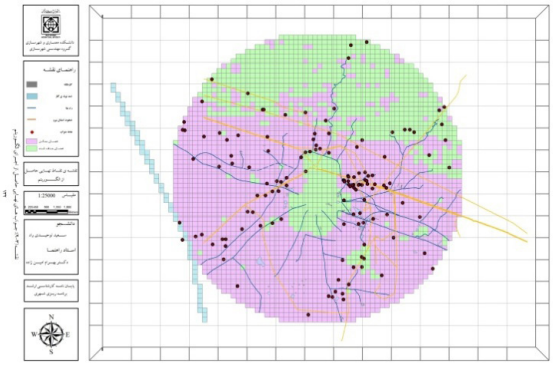
جدول زیر مقادیر تعریف شده برای الگوریتم NSGA-II به منظور مکانیابی فرودگاه قزوین را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳: مقادیر تعریف شده برای المان‌های الگوریتم NSGA-II به منظور مکانیابی فرودگاه قزوین

مقادیر تعریف شده برای هر المان	المان‌های الگوریتم NSGA-II
۲۰۰	جمعیت اولیه
۲۰۰	تعداد تکرار
۰،۷	نسبت تقاطع
۰،۱	نسبت جهش
۰،۰۲	احتمال جهش

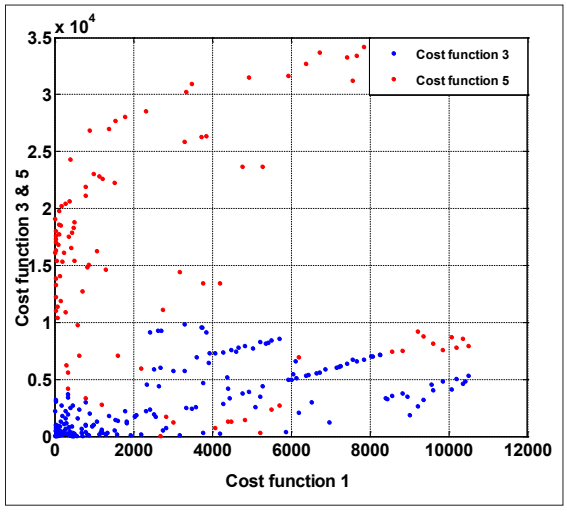
۵. یافته‌ها

به منظور حل مسئله مدل‌سازی شده با استفاده از الگوریتم NSGA-II، از یک کد کامپیوتری در محیط نرم‌افزار Matlab R2010a استفاده شده است. سپس الگوریتم با ۲۰۰ تکرار اجرا شد که در تکرار ۲۰۰ شرایط بهینگی محقق شد و جواب‌ها از همگرایی بسیار خوبی برخوردار بودند. با توجه به این که جمعیت اولیه ۲۰۰ نقطه بوده است، در پایان نیز ۲۰۰ نقطه که بهترین شرایط را در فضای ممکن تصمیم دارند، به عنوان جواب الگوریتم به دست آمده است. یک سری از نقاط در خارج از محدوده قرار می‌گیرد. این امر به دلیل جست‌وجوی نقاط جواب در الگوریتم NSGA-II بر اساس حداقل و حداکثر مختصات نقاط موجود در محدوده است که فضایی مربع شکل در نظر می‌گیرد ولی محدوده مورد نظر دایره‌ای شکل می‌باشد. بدین منظور تمامی نقاطی که خارج از محدوده بودند، حذف گردیدند. پس از حذف ۶۷ نقطه، ۱۳۳ نقطه که جواب‌های حاصل از اجرای الگوریتم است، باقی می‌ماند. تصویر شماره ۵ نقاط باقی مانده را نشان می‌دهد.

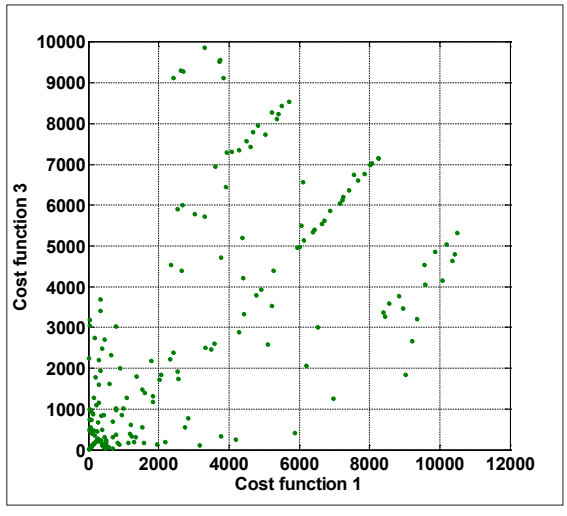


تصویر شماره ۵: جواب‌هایی نهایی حاصل از اجرای الگوریتم

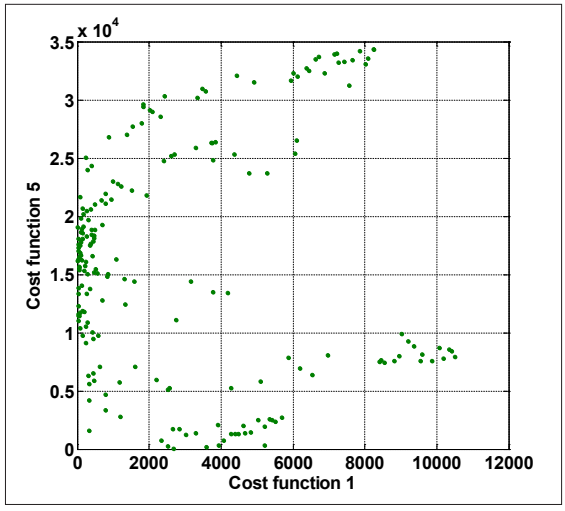
برای دستیابی به جبهه جواب بهینه، مقادیر توابع هدف به ازای هریک از جواب‌های نهایی الگوریتم بررسی گردید. به دلیل آن که مسئله دارای شش تابع هدف است، جواب‌های بهینه در این مسئله دارای فضای شش بعدی می‌باشند. از آنجا که نمایش فضای شش بعدی ناممکن است، در نمودارهای ۱،۲،۳ ابتدا مقادیر توابع کمینه‌سازی با هم مقایسه می‌شوند.



نمودار شماره ۱: مقایسه مقادیر توابع هدف ۳و۵ نسبت به تابع هدف ۱

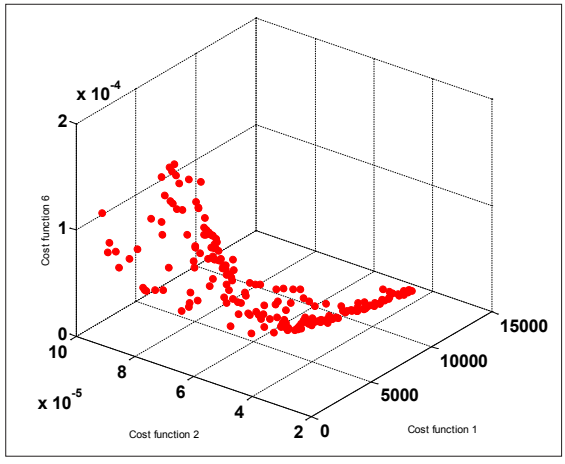


نمودار شماره ۲ : مقایسه مقادیر توابع هدف ۵ و ۱

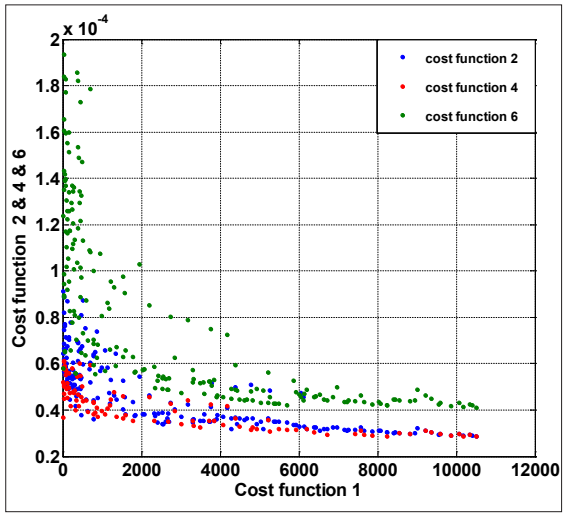


نمودار شماره ۳ : مقایسه مقادیر توابع هدف ۳ و ۱

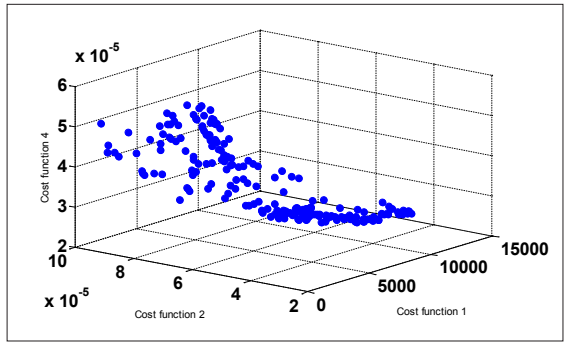
همان‌گونه که در نمودارها مشاهده می‌شود، نقاط جواب از همگرایی خوبی برخوردارند. بهترین نقاط آن نقاطی است که به ازای هر سه تابع(نزدیکی به راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها، نزدیکی به خطوط انتقال نیرو و نزدیکی به خط لوله اصلی انتقال گاز) کمینه شده است. حال مقادیر توابع هدف بیشینه‌سازی نسبت به تابع هدف ۱ که کمینه‌سازی است، بر روی نمودار بررسی می‌شود.



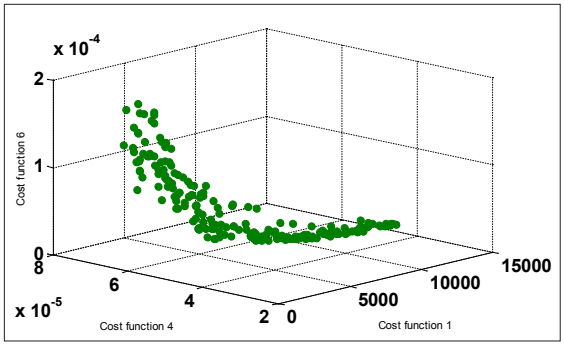
نمودار شماره ۴: مقایسه مقادیر توابع هدف ۲و۴و۶ نسبت به تابع هدف ۱



نمودار شماره ۵ : مقایسه مقادیر توابع هدف ۲و۶ با تابع هدف ۱



نمودار شماره ۶ : مقایسه مقادیر توابع هدف ۴و۶ با تابع هدف ۱



نمودار شماره ۷ : مقایسه مقادیر توابع هدف ۲و۴ با تابع هدف ۱

همان‌گونه که در نمودار شماره ۴ مشاهده می‌شود، نقاط جواب همگرایی بسیار خوبی دارند. در نمودار شماره ۴ نقاطی که به ازای چهار تابع هدف۱و۲و۴و۶ مقادیر کمتری دارند، نقاط بهینه می‌باشند. این امر[11] این دلیل است که توابع هدف بیشینه‌سازی ۲و۴و۶ به صورت [11] در مسئله بیان شده‌اند و در واقع نقاطی که در نمودار شماره ۴ به ازای توابع هدف۱و۲و۴و۶ کمترین مقدار را دارند، نقاط بیشینه برای توابع بیشینه‌سازی ۲و۴و۶، و نقاط کمینه برای تابع هدف ۱ می‌باشند.

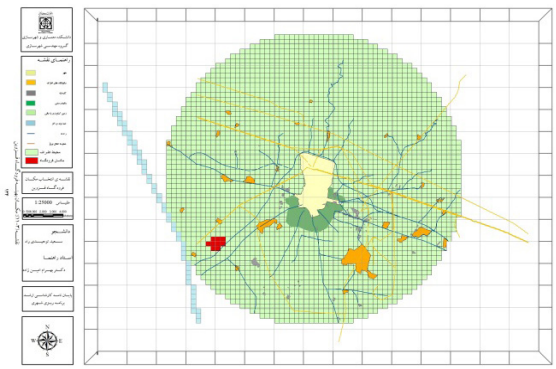
پس از بررسی مقادیر و نمودارهای توابع هدف به ازای همه نقاط جواب، بهینه‌ترین جبهه جواب که شامل چهار نقطه است، انتخاب گردید که مطابق جدول شماره ۴ می‌باشد.

جدول شماره ۴: مقادیر توابع هدف به ازای نقاط جبهه جواب بهینه

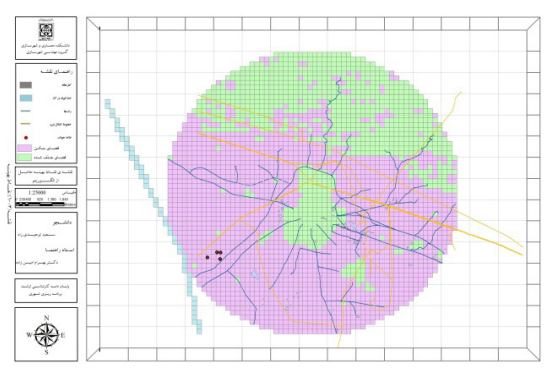
شماره نقطه	۵۹	۱۵۶	۱۶۳	۱۹۵
X	۴۰۰۶۳۶,۷۴۵۸۷	۳۹۹۶۲۵,۴۰۰۴۳	۴۰۰۹۹۲,۴۵۷۴۵	۴۰۰۹۵۲,۹۸۸۶۲
Y	۴۰۰۸۹۹۴,۹۴۶۱	۴۰۰۸۴۴۵,۳۰۴۵	۴۰۰۸۹۸۲,۷۸۶۳	۴۰۰۸۲۶۸,۰۴۸۳
مقدار تابع نخست	۷۷۹,۲۶	۱۱۰۳,۴۳۶	۵۱۳,۶۵	۷۳۰۳,۴۹۴
مقدار تابع دوم	۰,۰۰۰۰۴۴	۰,۰۰۰۰۴۲	۰,۰۰۰۰۴۵	۰,۰۰۰۰۳۵
مقدار تابع سوم	۱۰۲۳,۵۳۸	۷۰۲,۸۷۷	۱۰۹۶,۴۲۲	۲۶۹,۷۳
مقدار تابع چهارم	۰,۰۰۰۰۴۳	۰,۰۰۰۰۴۱	۰,۰۰۰۰۴۴	۰,۰۰۰۰۳۵
مقدار تابع پنجم	۳۳۸۲,۳۵۲	۲۳۴۵,۵۴۱	۳۷۳۳,۹۷۷	۱۰۵۴۶,۵۹۲
مقدار تابع ششم	۰,۰۰۰۰۶۹	۰,۰۰۰۰۶۴	۰,۰۰۰۰۷	۰,۰۰۰۰۵۶

این نقاط با وجود این که در همه توابع هدف بهترین نقاط نبودند ولی در مجموع شش تابع هدف وضعیت بهتری نسبت به سایر نقاط داشتند و به عنوان نقاط بهینه انتخاب گردیدند. در تصویر شماره شش، موقعیت این چهار نقطه در محدوده نشان داده شده است. با متصل کردن این نقاط به یکدیگر محدوده‌ای تشکیل می‌شود که نُه گرید را در بر می‌گیرد. در تصویر شماره ۷ مکان انتخابی فرودگاه قزوین با رنگ قرمز نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل تصویر شماره ۷ مشاهده می‌شود، مکان انتخاب شده بهینه برای فرودگاه قزوین با مساحتی حدود ۲۲۵ هکتار در جنوب غربی محدوده مورد مطالعه قرار دارد. با توجه به این که باد غالب شهر قزوین از سمت جنوب شرقی می‌باشد، مکان انتخاب شده، جهت‌گیری مناسبی در برابر باد دارد و دود و غبار شهر برای فرودگاه مزاحمتی ایجاد نمی‌کند. فواصل مکان انتخاب شده از شاخص‌های توابع هدف مطابق جدول شماره ۵ می‌باشد.



تصویر شماره ۶: نقاط بهینه



تصویر شماره۷: مکان بهینه فرودگاه قزوین

جدول شماره ۵: فواصل مکان انتخاب شده نسبت به شاخص‌های توابع هدف مسئله

شاخص	فاصله (کیلومتر)
نزدیکی به راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها	۰
دوری از کاخانجات صنعتی	۳,۳۱۴
نزدیکی به خطوط انتقال نیرو	۰,۳۷
دوری از مناطق مسکونی اطراف	۱,۱۲
نزدیکی به خط لوله اصلی انتقال گاز	۵,۵
دوری از شهر	۸,۵۴
دوری از باغ‌های سنتی	۶,۳۷

۶. بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های حل مسائل مکانیابی چندهدفه به دو دسته کلی روش‌های تجزیه و روش‌های مستقیم تقسیم می‌شوند. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه مسائل مکانیابی چند هدفه با استفاده از روش‌های تجزیه بوده است. برای مثال می‌توان به مقاله ژانگ ژنگ یانگ و مودی با عنوان مکانیابی پایانه‌های حمل‌ونقل شهری و مراکز خرید در یک شهر چینی اشاره کرد که در آن با استفاده از روش‌های تجزیه، مسئله چندهدفه تبدیل به یک مسئله تک‌هدفه شده و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شد. اما همان‌گونه که در پژوهش حاضر بیان شد، روش‌های مستقیم بسیار کاراتر، دقیق‌تر و سریع‌تر از روش‌های تجزیه می‌باشند. به همین منظور در پژوهش حاضر از یکی از روش‌های حل مستقیم استفاده شده است. سپس به دلیل پیچیدگی محاسباتی کمتر و سرعت بیشتر نسبت به سایر روش‌های مستقیم، الگوریتم NSGA-II به عنوان الگوریتم حل مسئله انتخاب شد. تفاوت اصلی پژوهش حاضر با سایر مقالاتی که از این الگوریتم برای مسائل مکانیابی چندهدفه استفاده کرده‌اند، نحوه استفاده از این الگوریتم برای مکانیابی یک کاربری ویژه مانند فرودگاه و همچنین نحوه تعیین شاخص‌های مکانیابی مسئله با استفاده از روش قضاوت خبرگان می‌باشد. برای مثال در مقاله خانم معصومی و همکاران با عنوان کاربرد الگوریتم ژنتیک چندهدفه در مطالعات مکانیابی کاربری‌های صنعتی، این مطلب که دقیقاً مکانیابی چه نوع صنعت بزرگی مدنظر می‌باشد، بیان نشده است. بلکه فقط به طور کلی کاربرد این الگوریتم در یک مسئله مکانیابی با یک سری شاخص‌های مکانیابی کلی و مشترک برای تمامی صنایع بزرگ بیان شده است، که با توجه به این که هر صنعت بزرگ، شاخص‌های مکانیابی ویژه و منحصر به فردی دارد، نمی‌تواند به خوبی بیانگر توانایی الگوریتم NSGA-II در حل یک مسئله دقیق و اجرایی مکانیابی چندهدفه باشد. اما در پژوهش حاضر از این الگوریتم در مکانیابی یک کاربری ویژه با شاخص‌های دقیق و مشخص استفاده شده است. نتایج به دست آمده، به خوبی نشان‌دهنده توانایی این الگوریتم در حل مسائل دقیق و اجرایی مکانیابی چندهدفه می‌باشد.

دستاوردهای این پژوهش به شرح ذیل می‌باشد:

- یکی از مهمترین دستاوردهای پژوهش حاضر، معرفی و ارائه یک مدل کارآمد و مناسب برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه در مکانیابی می‌باشد. این مسائل با روش‌های تجزیه هم حل می‌شوند. ولی این روش‌ها فقط بخش خاصی از مجموعه جواب‌ها را تولید می‌کنند. چون مسئله را به یک مسئله تک‌هدفه تبدیل می‌کنند و به اجبار یک‌سری از اطلاعات فضای تصمیم را از دست می‌دهند. برای حل این مشکل باید مسئله چندین بار حل شود که بسیار وقت‌گیر است. ولی روش ارائه شده در این پژوهش با چنین مشکلی روبه‌رو نیست و بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر می‌باشد.
- دستاورد مهم دیگر این پژوهش، توسعه مدلی است که با وجود در تناقض بودن برخی توابع هدف، بهینه‌سازی هم‌زمان انجام می‌دهد و به مدیران این امکان را می‌دهد که یک راه‌حل را از میان چندین راه‌حل بهینه برگزینند. به عبارت دیگر، الگوریتم پیشنهادی، نوعی سیستم حامی تصمیم‌گیری است که به مدیر کمک می‌کند تا با مشخص کردن اولویت‌ها، نتایج را مشاهده کند و بهترین تصمیم را بگیرد.

Reference:

- Alborzi, M.(2009), Genetic Algorithm, Tehran, Sharif university.[In Persian]
- Asgharpour, M.(2011), Multi-Criteria Decision making, 10th edn, Tehran, university of Tehran. [In Persian]
- Bennett, David A., Wade, Greg A., Armstrong, Marc P. (1999) "Exploring the Solution Space of Semi-structured Geographical Problems Using Genetic Algorithms". Transactions in GIS, No. 3(1), Pp. 51-71.
- Bui, Lam Thu., Alam, Sameer. (2008), Multi-Objective Optimization in Computational Intelligence: Theory and Practice (Premier Reference Source), New York, Information Science Reference.
- California Department of transportation. (2011), California airport land use planning handbook.
- Cao, Kai., Batty, Michael., Huang, Bo., Liu, Yan., Yu, Le. & Chen, Jiongfeng. (2011), "Spatial Multi-Objective Land-use Optimization: Extensions to the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II".

- Liu, Xiaoping., Li, Xia., Shi, Xun., Huang, Kangning. & Liu, Yilun. (2012), "A Multi-type Ant Colony Optimization (MACO) Method for Optimal Land Use Allocation in Large Areas". International Journal of Geographical Information Science. No.26 (7), Pp. 1325-1343.
- Liu, Yang., Lan, Zeying. (2010), "Automatic Districting of Land Consolidation Based on Multi-objective Tabu Search Algorithm". Wuhan Daxue Xuebao (XinxiKexue Ban)/ Geomatics and Information Science of Wuhan University. Vol. 35, Issue. 9, Pp. 1129- 1133.
- Masumi, Z., Mansourian, A. & Mesgari, M.(2010), "Application of Multi-Objective Genetic Algorithm in the industrial locating studies". Journal of Iranian RS & GIS society, No. 4(2), Pp. 1-22. [In Persian]
- Porta, Juan., Parapar, Jorge., Doallo, Ramon., Rivera, Francisco F., Sante, Ines. & Crecente, Rafael. (2013), "High Performance Genetic Algorithm for Land Use Planning", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 37, Pp. 45-58.
- Qian, Min., Pu, Lijie., Zhu, Ming. & Weng, Lingyan. (2010), "Spatial Optimization Method for Sustainable Multi-objective Land Use Allocation". 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, China, June 18-20, Pp. 1-6.
- Senthilkumar, Chinnamuthu., Ganesan, Gowrishankar. & Karthikeyan, Ramanujam. (2012), "Optimization of ECM Process Parameters Using NSGA-II". Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. No.11(10), Pp. 931-937.
- Stewart, Theodor J., Janssen, Ron. & Van Herwijnen, Marjan. (2004), "A Genetic Algorithm Approach to Multi-objective Land Use Planning". Computers and Operations Research, No. 31(14), Pp. 2293-2313.
- Wells, Alexander T., Young, Seth B. (2004), Airport Planning & Management, 5th edn, New York, McGraw.Hill.
- Yang, Z., Moodie, D.R. (2009) "Locating Urban Logistics Terminals and Shopping Centers in a Chinese City", POMS 20th Annual Conference, Orlando, USA,1-4 May.

International Journal of Geographic Information Science, No. 25 (12), Pp. 1949-1969.

- Cao, Kai., Huang, Bo., Wang, Shaowen. & Lin, Hui. (2012), "Sustainable Land Use Optimization Using Boundary-based Fast Genetic Algorithm". Computers, Environment and Urban Systems, No. 36 (3), Pp. 257-269.
- City and Planning Consulting engineers. (2011), Master plan report of the city of Qazvin and the influence area, Ministry of Housing & Urbanism, Housing and Urbanism organization of Qazvin province. [In Persian]
- Coello Coello, Carlos A., Lamont, Gary B. & Van Veldhuizen, David A. (2007), Evolutionary Algorithms for Solving Multi-objective Problems, 2th edn, New York, Springer.
- Duh, Jiunn Der., Brown, Daniel G. (2007), "Knowledge-informed Pareto Simulated Annealing for Multi-objective Spatial Allocation". Computers, Environment and Urban Systems. No.31 (3), Pp. 253-281.
- Durillo, Juan J., Nieto, Jose Garcia., Nebro, Antonio J., Coello Coello, Carlos A., Luna, Francisco. & Alba, Enrique. (2009), "Multi-Objective Particle Swarm Optimizers:An Experimental Comparison". 5th International Conference on EMO 2009, Nantes, France, April 7-10, Pp. 495-509.
- Engelbrecht, Andries P. (2007), computational intelligence, 2th edn, England, John Wiley & Sons Ltd.
- Forghani, A., Sharif yazdi, M.& Akhundi, A.(2008), Locating industrial and service centers with functional approach, Tehran, jahad daneshgahi. [In Persian]
- Haupt, Randy L., Haupt, Sue Ellen. (2004), Practical Genetic Algorithms, 2th edn. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Huy, Man Quang., Kappas, Martin. (2010),"Developing multi objective linear programming (MOLP) to improve the decision making of land use planning". 31st Asian Conference on Remote Sensing(ACRS) 2010, Hanoi, Vietnam, November 1-5, pp. 647-652.

- Yin, Peng Yeng., Wang, Tai Yuan. (2012), "A Grasp-VNS Algorithm for Optimal Wind Turbine Placement in Wind Farms". Renewable Energy, Vol. 48, Pp. 489-498.
- Zhou, Jiang., Civco, Daniel L.(1996), "Using Genetic Learning Neural Networks for Spatial Decision Making in GIS". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, No. 62 (11), Pp. 1287-1295.