



سخن از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال هشتم، شماره اول، بهار ۱۳۹۵
Vol.8, No. 1, Spring 2016

۱۰۹-۱۲۶

کاربرد ترکیب برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ابتکاری کلونی مورچگان و قابلیت‌های GIS در به‌گزینی مکانی کاربری اراضی

مریم سعیدصباغی^{۱*}، رسول سلمان‌ماهینی^۲، سید محمد شهرآئینی^۳، سید حامد میرکریمی^۴، نورالدین دبیری^۵

۱. دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار گروه محیط‌زیست دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استادیار گروه برق دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه گلستان
۴. استادیار گروه محیط‌زیست دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۵. استادیار گروه صنایع دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه گلستان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۵/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱

چکیده

در شرایط روبه‌رشد توسعه، طراحان سرزمین بارها با شرایطی مواجه می‌شوند که برای مکانی خاص، گزینه‌های متفاوت کاربری وجود دارد. اینجاست که بین برگزیدن یا برنگزیدن کاربری‌ها تعارض پدید می‌آید. تحقیق حاضر، با چنین رویکردی، چگونگی ساماندهی چهار کاربری کشاورزی، جنگل، مرتع و توسعه و اولویت‌بندی آنها را در منطقه‌ای در شهرستان گرگان، با هدف کاهش هزینه تخصیص سرزمین به هر کاربری و افزایش تراکم و پیوستگی مناطق اختصاص‌یافته به آنها، به منزله معیارهای شکلی سیمای سرزمین، مورد مذاقه قرار داده است. در این راستا، از قابلیت‌های دو مدل دقیق و ابتکاری، شامل مدل برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم کلونی مورچگان، استفاده شده است. برای اجرای مسئله به‌گزینی کاربری اراضی تعریف‌شده در مدل برنامه‌ریزی خطی که با توجه به ابعاد مسئله (۱۳۲ ردیف در ۱۲۷ ستون) و اهداف مورد تحقیق در زمره مسائل سخت قرار دارد، از روش آزادسازی مسئله از قید صحیح و روش شاخه و کران بهره گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد میزان هزینه تخصیص، تراکم و پیوستگی در همه کاربری‌ها در استفاده ترکیبی از دو مدل بالا، درمقایسه با شرایطی که فقط یکی از دو مدل به کار رود، بهینه‌تر خواهد بود. نتایج مقایسه اجرای به‌گزینی در استفاده ترکیبی از دو الگوریتم و اجرای آن به وسیله الگوریتم شناخته‌شده MOLA در نرم‌افزار ایدرسی نشان می‌دهد که ضمن آنکه در مدل پیشنهادی امکان تعریف اهداف بیشتر وجود دارد، تفاوت مقادیر هزینه، تراکم و پیوستگی در نتایج دو مدل پس از استانداردسازی در بازه صفر تا یک، به ترتیب، ۰.۰۳، ۰.۰۱ و ۰.۰۷ است و الگوریتم ترکیبی بهینه‌تر عمل کرده است.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی سرزمین، مسائل سخت، کاربری اراضی، برنامه‌ریزی خطی، الگوریتم کلونی مورچگان.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: دانشگاه منابع طبیعی و کشاورزی گرگان، گروه محیط‌زیست.

۱- مقدمه

تخصیص کاربری سرزمین^۱ فرایندی در ارزیابی است که به تعیین مقدار و موقعیت کاربری‌های گوناگون در منطقه، در شرایطی می‌پردازد که گزینه‌های متفاوتی برای اختصاص مکان به آنها وجود دارد. این موضوع فرایند تخصیص بهینه یا، به بیان ساده‌تر، نوعی به‌گزینی است (Carsjens & Van der Knaap, 2002) که در جست‌وجوی یافتن پاسخی برای پرسش‌های شناخته‌شده «چه چیز»، «چه مقدار» و «کجا» است. از منظر تجزیه و تحلیل مطلوبیت سرزمین، پیش از هر چیز، تفاوت قائل شدن بین مسئله انتخاب مکان^۲ و جستجوی مکان^۳ ارزشمند و ضروری است (Cova & Church, 2000). در مسئله انتخاب مکان یا مکانیابی، هدف تعیین بهترین مکان برای برخی فعالیت‌ها از میان مجموعه مکان‌های بالقوه است. در این نوع تحلیل‌ها، همه خصوصیات گزینه‌ها (مانند مکان، اندازه و صفات مورد نظر) از پیش مشخص است. رتبه‌بندی گزینه‌های مکان و انتخاب بهترین مهم است^۴. اما اگر گزینه‌های ممکن از پیش مشخص نباشد، مسئله جست‌وجوی مکان خواهیم داشت. در اینجا، ویژگی‌های مکان (یا مرزهای آن) باید با حل مسئله تعیین شود. در مسائل این‌چنینی، مطلوبیت مکان و نیز، ویژگی‌های مکانی مانند شکل، پیوستگی، تراکم و موارد دیگر بر پایه برخی معیارها تعیین می‌شود (Malezewski, 2004). تخصیص بهینه سرزمین که در ادبیات شناخته‌شده ارزیابی و برنامه‌ریزی سرزمین (آمایش سرزمین) به‌منزله اولویت‌بندی کمی گزینه‌ها و ساماندهی آنها مطرح می‌شود، مصداقی روشن از تعریف اخیر است. در تخصیص بهینه سرزمین، در کل، دو دسته اهداف مطرح در سطح منطقه‌ای (مانند مطلوبیت بیشتر و یا هزینه کمتر سرزمین برای هر کاربری) و اهداف مطرح در سطح هر کاربری (مانند خصوصیات هندسی^۵ مناطق، همچون میزان تراکم، سطح، تعداد لکه‌ها^۶ و انطباق کاربری‌های مجاور) مورد بررسی و موازنه‌اند

(Liu et al., 2012). در کنار اهداف یادشده، محدودیت‌های فیزیکی، اقتصادی، فرهنگی و محیط‌زیستی نیز وجود خواهد داشت. پیچیدگی تصمیم‌گیری آنجا به اوج می‌رسد که این اهداف هم در کل سرزمین و هم‌زمان، در سطح واحدهای سرزمین نیز باید بررسی شود. بررسی در سطح واحدها موجب می‌شود که سطح محاسبات با افزایش تعداد واحدها و یا افزایش اندازه تفکیک نقشه‌ها به‌طور نمایی افزایش یابد و بررسی‌ها را سخت و گاه ناممکن کند (Stewart et al., 2004). حل مسائل بهینه‌یابی، در قالب مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه، به الگوریتم‌های ویژه‌ای نیاز دارد. در نگاهی کلی، فنون و الگوریتم‌های مورد استفاده به دو دسته الگوریتم‌های دقیق (مانند برنامه‌ریزی خطی، عدد صحیح و یا عدد صحیح ترکیبی^۷) و الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری (مانند الگوریتم ژنتیک، تابو، مذاب‌سازی، کلونی مورچگان) تفکیک می‌شوند.

۲- درآمدی بر برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم

کلونی مورچگان

۲-۱- برنامه‌ریزی خطی

در حیطه به‌گزینی (اولویت‌بندی کمی) کاربری اراضی، الگوریتم‌های گوناگونی توسعه داده شده‌اند (Williams and Reville, 1998; Aerts et al., 2003;) (Stewart et al., 2004). از متداول‌ترین این فنون استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی، مانند برنامه‌ریزی خطی است (Chuvieco, 1993; Auseil et al., 2012). به‌طور کلی، برنامه‌ریزی خطی روشی برای دستیابی به بهترین نتیجه (کمترین هزینه یا بیشترین مطلوبیت) در یک مدل ریاضی است که شرایط آن از طریق روابط

1. land allocation

2. site selection

3. site searching

۴. مانند مکانیابی پهنه‌های دفن پسماند

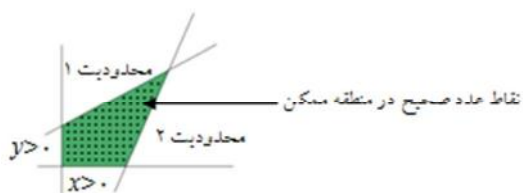
5. geometric

6. patch

۷. گاه در برنامه‌ریزی خطی، از هر دو نوع متغیر تصمیم (عدد

صحیح و معمول، یا حقیقی) وجود دارد. در این حالت، برنامه‌ریزی

خطی را برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی گویند.



شکل ۱. منطقه فضای ممکن (نقاط مشخص شده در داخل چندضلعی) در مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح

افراد دیگری از این روش در مسائل برنامه‌ریزی سرزمین که فقط به یک کاربری می‌پردازد، بهره گرفته‌اند (Minor & Jacob, 1994; Williams & Reville, 1998;) برخی (Cova & Church, 2000; Beyer et al., 2016) نیز از این روش در مسائل به‌گزینی چند کاربری استفاده کرده‌اند که البته به دلیل محدودیت‌های مدل‌های خطی، ابعاد مسئله کوچک بوده است^۴ (Aerts et al., 2003). در کنار این مسائل، ایده پردازان در دنیای معادلات ریاضی، روش‌های ابتکاری یا ترکیبی در حل مسائل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح پیشنهاد کرده‌اند که در برخی، ردپایی از مفهوم آزادسازی^۵ دیده می‌شود که به معنای برداشتن قید صحیح از تابع برنامه‌ریزی خطی و حل آن به صورت برنامه‌ریزی خطی معمول و در نهایت، گرد کردن پاسخ‌ها براساس برخی ملاحظات و قوانین است. منظور از روش‌های ترکیبی نیز معمولاً ترکیب برنامه‌ریزی خطی با الگوریتم‌های ابتکاری^۶ و یا استفاده تنها از آنها، مانند MOLA (Eastman & Jiang, 1996)، الگوریتم ژنتیک (Stewart et al., 2004)، شبیه‌سازی تبرید (Sharma & Lees, 2004) و کلونی مورچگان (Liu et al., 2012) است. الگوریتم‌های ابتکاری اگرچه رسیدن به پاسخ بهینه قطعی را تضمین نمی‌کنند، یافتن پاسخی نزدیک به پاسخ بهینه^۷ را در زمان مورد قبول دست‌یافتنی می‌کنند. MOLA از نخستین الگوریتم‌های ابتکاری به کاررفته در بهینه‌سازی سرزمین

ریاضی بیان می‌شود. در اینجا، توابع هدف و محدودیت‌ها به صورت معادلات یا نامعادلات خطی بیان می‌شوند. منطقه پاسخ‌های ممکن، پ مجموعه‌ای از اعداد حقیقی محدود در چندضلعی محدب است که از برخورد گوشه‌های نامعادلات خطی مربوط به محدودیت‌ها، در فضای نامحدود تصمیم‌گیری شکل می‌گیرد. نقطه قوت این فن بهینه‌یابی دست یافتن به نتایج دقیق و بهینه است. اما یافتن این پاسخ دقیق نیازمند بررسی همه پاسخ‌های احتمالی است که ممکن است بسیار زمانبر باشد و این موضوع بهای این جست‌وجوی کامل است. زمان یافتن پاسخ صحیح در این فن، با توجه به تعداد متغیرها، به صورت چندجمله‌ای^۱ تغییر می‌کند. در مباحث برنامه‌ریزی خطی مکانی، مانند به‌گزینی سرزمین، وارد کردن گزینش بر پایه مکان کارشناسان را به استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (برنامه‌ریزی خطی صفر و یک)، به‌منزله نمونه‌ای از مشتقات برنامه‌ریزی خطی ناگزیر می‌کند. در این حالت، به هر واحد سرزمین در زمان فقط می‌شود یک کاربری اختصاص داد. اگرچه بیان چنین مسائلی در قالب برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح درک پذیرتر به نظر می‌رسد، تحمیل چنین محدودیتی به مدل برنامه‌ریزی خطی و محدود کردن فضای تصمیم از مجموعه اعداد حقیقی به مجموعه اعداد صحیح که در عین حال، دربرگیرنده دیگر شرایط بیان‌شده در تابع باشند، یافتن پاسخ را بسیار مشکل می‌کند و در مسائل بزرگ، با متغیرهای تصمیم بسیار، آن را تقریباً ناممکن کرده و درزمره مسائل سخت^۲ قرار داده است (McDonnell, 2000). باور بر این است که چنین مسائلی در زمان چندجمله‌ای به پاسخ نخواهند رسید (Dorigo & Stutzle, 2004)، ضمن آنکه اصولاً فضای تصمیم را از مجموعه‌ای پیوسته به مجموعه‌ای گسسته تغییر می‌دهد (شکل ۱).

نخستین بار، در سال ۱۹۹۳، چوویکو^۳ برنامه‌ریزی خطی را در مسائل برنامه‌ریزی سرزمین به کار برد. درحقیقت، در تحقیق چوویکو، حل مدل خطی بدون توجه به متغیرهای مکانی صورت گرفته بود. همچنین،

1. polynomial
2. NP-hard
3. Chuvieco
۴. ابعاد مسئله (۲۵×۲۵) بیکیسل بوده است.
5. relaxation
6. Heuristic
7. pareto

برای ظهور رفتار خاصی، وجود ندارد (Ahmed & Glasgow, 2012). الگوریتم‌های مبتنی بر توده^۵ همچون خانواده‌ای از الگوریتم‌های ملهم از طبیعت^۶ و جمعیت مبتنی^۷ تلقی می‌شوند که در ایجاد و بهبود هزینه‌اندک سرعت بالا و راه‌حل بهینه در مسائل پیچیده توانمندند (Panigrahi et al., 2011; Blum & Merkle, 2008). از این‌رو، هوش ازدحامی شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که از رفتارهای جمعی توده‌های اجتماعی موجود در طبیعت، مانند کلونی مورچه‌ها، زنبورهای عسل و دسته‌های پرندگان استفاده می‌کند (Ahmed & Glasgow, 2012). این همکاری به نوعی جریان برای تبادل اطلاعات نیازمند است. در مورد کلونی مورچگان، تحقیقات نشان می‌دهد که ارتباط، در دنیای واقعی، از طریق ماده شیمیایی «فرمون»^۸ صورت می‌گیرد (Dorigo & Stutzle, 2004). در آزمایش ساده انتخاب مسیر، مورچه‌ها نخست، مسیر خود از لانه به محل آذوقه را به تصادف می‌یابند، ولی چون زمان رفت و برگشت در مسیر کوتاه‌تر کمتر است، به تدریج، غلظت فرمون در این مسیر افزایش می‌یابد که این، خود، موجب جذب دیگران و افزایش بیشتر فرمون خواهد شد (Goss et al., 1989; Deneubourg et al., 1990). در واقع، مسیر بهینه در طول زمان ایجاد می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد، الگوریتم کلونی مورچگان از رفتار مورچه‌ها در جستجوی مسیر از لانه برای یافتن غذا الهام گرفته شده که بر پایه همکاری^۹ و تطابق^{۱۰} است (Dorigo, 1992). درحقیقت، مسیر حرکت مورچه‌ها همانند گرافی است که رأس‌های^{۱۱} آن محل

است که در نرم‌افزار ایدریسی ارائه شده است (Eastman et al., 1995). این الگوریتم، در کنار مزیت‌های مهم به لحاظ زمان حل کوتاه و کاربرپسند بودن، بیشترین کارآمدی خود را زمانی دارد که همبستگی معکوس بین مطلوبیت کاربری‌ها برای موقعیتی واحد وجود داشته و یا در مرتبه‌ای پایین‌تر، هیچ همبستگی‌ای بین آنها وجود نداشته باشد. در این صورت، تعداد سلول‌های متعارض، درمقایسه با تعداد کل سلول‌ها، کم است. اما چنانچه همبستگی مثبت بین کاربری‌ها وجود داشته باشد، بیشترین تعارض حاصل می‌شود (Cromely & Hanink, 2003). از دیگر کمبودهای آن بی‌توجهی به مفهوم تراکم در تخصیص است که گاه موجب ایجاد پراکندگی در موقعیت پیکسل‌های اختصاص یافته به یک کاربری می‌شود (Sharma & Lees, 2004; Dai, 2010).

۲-۲- الگوریتم کلونی مورچگان

یکی از الگوریتم‌های ابتکاری که پیش از این اشاره‌ای به آن شد، الگوریتم کلونی مورچگان^۱ است. این رهیافت که یکی از فنون هوش مصنوعی است، در سال ۱۹۸۹ معرفی شد (Eberhart et al., 2001). این الگوریتم از انواع هوش ازدحامی^۲ است. هوش ازدحامی نوعی از هوش است که از ازدحام مجموعه‌ای عامل^۳ به دست می‌آید که هیچ‌یک از آنها به تنهایی آن را ندارند. این هوش برآمده از تعامل اجتماعی عامل‌های تشکیل دهنده است. اعضای این جمعیت باید به پاره‌ای رفتارهای جمعی پایبند، و در همکاری با یکدیگر باشند. به معنای دیگر، باید نوعی خودتنظیمی^۴ بین آنها وجود داشته باشد (Eberhart et al., 2001; Dorigo & Stutzle, 2004). مورچه‌ها، زنبورها و حشرات که زندگی جمعی دارند، از مظاهر هوش مصنوعی به‌شمار می‌آیند. درحقیقت، هوش ازدحامی از تعدادی عواملی ساده و یکسان متشکل شده است که به‌طور محلی، با یکدیگر و با محیط‌زیست خود در تعامل‌اند و کنترل مرکزی بر آنها،

1. ACO: Ant Colony Algorithm
2. Swarm Intelligence
3. Agent
4. Self-organization
5. Swarm-based Algorithm
6. Nature-inspired
7. Population-based
8. pheromone
9. cooperation
10. adaptation
11. node

۳- توصیف مدل

۳-۱- استفاده از مدل هزینه در تخصیص بهینه سرزمین

هر مسئله تخصیص بهینه کاربری اراضی را اگر مسئله حداقل سازی در نظر بگیریم، می شود، مانند هر مسئله ای از این نوع، به صورت معادله (۱) تعریف کنیم (Dorigo & Stutzle, 2004).

$$\Pi = (S, \Omega, f) \quad (1)$$

S مجموعه راه حل های ممکن، f تابع هدف و Ω مجموعه محدودیت هاست. این مسئله در پی راه حل بهینه (i_{opt}) به صورتی است که $i_{opt} \in S$ باشد و شرایط معادله (۲) در آن صدق کند (Aerts et al., 2003).

$$f(i_{opt}) \leq f(i) \quad \forall i \in S \quad (2)$$

اگر منطقه مورد مطالعه را ماتریسی با P ردیف و Q ستون در نظر بگیریم، بر سر تصاحب هر سلول این ماتریس، رقابت و تعارضی بین کاربری ها وجود دارد. به طوری که $k=1, \dots, K$ نشان دهنده انواع کاربری هاست. مسلم است که هر سلول فقط به وسیله یک نوع کاربری ممکن است اشغال شود. به منظور بیان ریاضی این گفتار، به معرفی متغیری (X_{ijk}) نیاز است که مقدار آن نشان دهنده اختصاص یافتن یا اختصاص نیافتن سلول (i, j) به کاربری k باشد. درحقیقت، X_{ijk} متغیر باینری است که مقدار آن برای کاربری k ، در صورتی که به سلول (i, j) اختصاص یابد، برابر یک و در صورتی که به آن اختصاص نیابد، برابر صفر خواهد بود (Aerts et al., 2003). در مسائل تخصیص بهینه کاربری، معمولاً در منطقه برای هر نوع کاربری سطحی در نظر می گیرند. در اینجا، متغیر A_k برای نشان دادن سطح در نظر گرفته شده برای هر کاربری انتخاب شده است.

تحقیق حاضر درصدد است به کمک روش ترکیبی^۴ برنامه ریزی خطی و الگوریتم کلونی مورچگان، دستیابی به سه هدف حداقل کردن هزینه، حداکثر کردن تراکم

قرارگیری مورچه ها در حال حاضر، یا احتمالاً در آینده است. بین این رأس ها، یال هایی^۱ (مسیرهایی) با کیفیت های خاص وجود دارد که ممکن است معیار سنجش آنها هزینه، زمان، فاصله و مانند آن باشد. مورچه از دو اهرم رد فرمون^۲ و اطلاعات پایه^۳ در انتخاب مسیر استفاده می کند. فرمون (τ) به وسیله مورچه ها ایجاد می شود اما اطلاعات پایه (η) دانسته های اولیه در مورد مسئله است که از سوی نیرویی خارجی غیر از مورچه ها پدید می آید (Dorigo & Stutzle, 2004). اطلاعاتی در خصوص هزینه یا زمان در این دسته قرار می گیرند (Dorigo & Stutzle, 2004).

مورچه بر پایه احتمالی که از ترکیب این دو اهرم حاصل شده، برای انتخاب مسیر تصمیم می گیرد. بدیهی است حرکت نخستین مورچه ها از لانه به سمت غذا کاملاً تصادفی است. فرمونی که به وسیله مورچه ها روی مسیر ریخته می شود، دستخوش دو اتفاق قرار می گیرد (به روزرسانی و تبخیر). در واقع، در الگوریتم بالا، فرض است که مورچه ها حافظه ای دارند که به کمک آن، می توانند پس از طی مسیر، کیفیت آن را ارزیابی کنند و در مسیر بازگشت، بر پایه این ارزیابی، مقدار فرمونی را به میزان اولیه بیفزایند. طبیعی است مسیری با موقعیت بهتر فرمون بیشتری نیز دریافت خواهد کرد. متأسفانه مورچه ها ممکن است ضمن جست و جوی مسیر، حلقه ایجاد کنند. به دلیل مکانیسم به روزآوری فرمون، به تدریج، حلقه ها بیشتر و بیشتر برای مورچه ها جذاب می شوند و مورچه ها در دام آنها می افتند (Dorigo & Stutzle, 2004). این حلقه ها، درحقیقت، همان تله های محلی اند. به تعبیری، در این هنگام، مجموعه ای از روش های نادرست و سنت های اشتباه ایجاد می شود که دیگران نیز از آن تبعیت می کنند. پس باید راهی ایجاد کرد که امکان گریز پیش آید. عملکرد تبخیر نیز همین است. در الگوریتم، این فرایندها به صورت حلقه ای با اثر مثبت توصیف می شوند (Dorigo, 1992).

1. link
2. pheromone trail
3. heuristic information
4. hybrid

لکه‌ها (فشرده‌گی) ^۱ و حداکثر کردن پیوستگی لکه‌های مشابه به یکدیگر ^۲ را در تخصیص بهینه سرزمین دنبال کند. مشخص شده است سرویس‌دهی و خدمات‌رسانی در اشکال متراکم، به دلیل کارآمدی در توزیع و مصرف انرژی، آسان‌تر است (Gabriel et al., 2006). در ضمن، کارشناسان معتقدند حفاظت از تنوع زیستی در مناطق متراکم‌تر، با نسبت کمتر محیط به سطح، بسیار بهتر از مناطق کوچک پراکنده است (Walmseley, 1999).

شایان ذکر است که مفاهیم تراکم و پیوستگی از یکدیگر متفاوت‌اند. زمانی از «تراکم» استفاده می‌کنیم که سلول‌های با کاربری مشابه در کنار هم قرار گیرند و تا آنجا که ممکن است، لکه‌های متراکم تشکیل دهند، درحالی‌که «پیوستگی» زمانی رخ می‌دهد که لکه‌های با کاربری‌های مشابه، تا آنجا که ممکن است، پیوسته باشند، به گونه‌ای که بشود بدون خارج شدن از لکه‌ای به گوشه دیگر لکه رفت. به عبارتی، تراکم برای سلول و پیوستگی برای لکه مصداق می‌یابد (Aerts, 2003).

به دلیل پیچیدگی رسیدن به پاسخ صحیح در برنامه‌ریزی خطی ^۳ و قرار داشتن مسئله یادشده در زمره مسائل سخت، در مدل بالا فقط دو هدف اول و دوم بررسی شد و سپس، به کمک پاسخ به دست آمده، هر سه هدف در الگوریتم کلونی مورچگان بررسی شد.

معادله (۴) که مربوط به تراکم است، در حقیقت، از طریق معادله (۹) محاسبه می‌شود

$$Compactness_k = \frac{minPr_k - Pr_k}{minPr_k - maxPr_k} \quad (9)$$

معادله (۹) از این دیدگاه سرچشمه می‌گیرد که براساس تئوری در هندسه، در بین اشکال هندسی، دایره متراکم‌ترین شکل با کمترین نسبت محیط به مساحت را داراست (Patton, 1975). بنابراین، حداکثر تراکم در چگونگی چینش کاربری‌ها زمانی است که سلول‌های کاربری‌های مشابه به گونه‌ای دایره‌مانند در کنار هم قرار گیرند. در این حالت، مجموع محیط لکه‌ها، حداقل است ($minPr_k$). حداقل تراکم نیز زمانی است که سلول‌های کاربری‌های مشابه کاملاً دور از هم باشند. در این حالت، مجموع محیط حداکثر است ($maxPr_k$). با استانداردسازی مجموع محیط لکه‌های مربوط به هر کاربری (Pr_k)، براساس مقادیر حداقل و حداکثر می‌شود معیار مناسبی برای تراکم لکه‌ها ایجاد کرد (Bribiesca, 1997; Liu et al., 2012).

معادله (۵) نیز که برای اندازه‌گیری پیوستگی لکه‌ها است، نمادی از معادله (۱۰) است:

$$Contiguity_k = \frac{maxPc_k - Pc_k}{maxPc_k - minPc_k} \quad (10)$$

در سال ۲۰۰۲، ویلیامز ^۴ محاسبه تعداد لکه‌ها را

۳-۲- بیان ریاضی مسئله تخصیص بهینه سرزمین همان‌طور که اشاره شد، توابع هدف در این پژوهش شامل حداقل کردن هزینه، حداکثر کردن فشرده‌گی لکه‌های کاربری و حداکثر کردن پیوستگی آنهاست. معادلات (۱۰-۳) (Bribiesca, 1997; Williams, 2002; Aerts et al., 2003; Stewart et al., 2004; Liu et al., 2012):

۳-۱- همان‌طور که اشاره شد، توابع هدف در این پژوهش شامل حداقل کردن هزینه، حداکثر کردن فشرده‌گی لکه‌های کاربری و حداکثر کردن پیوستگی آنهاست. معادلات (۱۰-۳) (Bribiesca, 1997; Williams, 2002; Aerts et al., 2003; Stewart et al., 2004; Liu et al., 2012):

$$Min \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q C_{ijk} X_{ijk} \quad (3)$$

$$Max \sum_{k=1}^K Compactness \quad (4)$$

$$Max \sum_{k=1}^K Contiguity \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{ijk} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q X_{ijk} = A_k \quad (7)$$

$$\forall k = 1, \dots, K \quad i = 1, \dots, P \quad j = 1, \dots, Q \quad (8)$$

1. compactness

2. contiguity

۳. از آنجا که برنامه‌ریزی خطی از دسته الگوریتم‌های دقیق است که راه‌حل بهینه را، در پایه، پس از بررسی همه راه‌حل‌های ممکن به دست می‌آورند (اگرچه روش‌های ابداعی، مانند روش شاخه و کران، از میزان این جستجوی کامل کاسته است)، به شدت در برابر افزایش تعداد متغیرهای تصمیم و پیچیدگی مسئله که با اضافه شدن تعداد اهداف مورد بررسی ایجاد می‌شود، حساس‌اند و در موارد بسیاری، با افزایش پیچیدگی مسئله، رسیدن به پاسخ بهینه در آنها ناممکن می‌شود.

4. Williams

$$\text{Max} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q Y_{ijk} \quad (12)$$

به طوری که

$$Y_{ijk} \leq 4 X_{ijk} \quad (13)$$

$$Y_{ijk} \leq X_{i-1jk} + X_{i+1jk} + X_{ij-1k} + X_{ij+1k} \quad (14)$$

$$Y_{ijk} \leq X_{i-1jk} + X_{i+1jk} + X_{ij-1k} \quad (15)$$

$$+ X_{ij+1k} - 4(1 - X_{ijk})$$

$$Y_{ijk} \geq 0 \quad (16)$$

در این مدل، توابع حداقل کردن هزینه و حداکثر کردن تراکم به صورت معادله (۱۷) با هم ترکیب می شوند.

$$\text{Min} \quad G1 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q C_{ijk} X_{ijk} - \\ G2 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q Y_{ijk} \quad \forall G1 + G1 = 1 \quad (17)$$

$G1$ و $G2$ به ترتیب وزن های مربوط به اهداف

حداقل کردن هزینه و حداکثر کردن تراکم اند. Y_{ijk} متغیر صحیحی است که به منظور در نظر گرفتن فشردگی، به تابع معرفی شده است. چگونگی تعریف و حدود بالا و پایین این متغیر که بر پایه توجه به همسایگی های هر سلول است، در معادلات (۱۶-۱۳) بیان شده است.

۴- محدوده مورد مطالعه و آماده سازی داده های

لازم برای اجرای مدل

نقشه های پایه مورد استفاده برای به گزینی شامل نقشه های MCE (نقشه های مطلوبیت سرزمین) ^۱ مربوط به کاربری های مهم کشاورزی، جنگل، مرتع و توسعه شهری، از منطقه ای به وسعت ۳۹۷ کیلومتر مربع از شهرستان گرگان است ^۲ (شکل ۱). دامنه ارزش هریک

به منزله معیاری از پیوستگی لکه ها معرفی کرد. بر این اساس، PC_k متغیری است که مجموع تعداد لکه های هر کاربری را نشان می دهد. برای استاندارد کردن این معیار، می شود حداقل تعداد لکه ها ($minPC_k$) را ۱ و حداکثر تعداد آنها ($maxPC_k$) را برابر با تعداد کل سلول هایی در نظر گرفت که باید به یک کاربری اختصاص یابد.

در نهایت، به منظور حل توابع بیان شده، از ترکیب توابع بر پایه وزن دهی استفاده می شود معادله (۱۱)

$$\text{Min} \quad W1 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q C_{ijk} X_{ijk} - \\ W2 \sum_{k=1}^K \text{Compactness} - W3 \sum_{k=1}^K \text{Contiguity} \\ \forall W1 + W2 + W3 = 1$$

$W1$ ، $W2$ و $W3$ به ترتیب، وزن های به اهداف حداقل

کردن هزینه، حداکثر کردن تراکم و حداکثر کردن پیوستگی لکه ها مربوط می شوند. لازم است توضیح بدهیم اگرچه ممکن است وزن های بهینه پس از تکرارهای گوناگون و با توجه به مقادیر به دست آمده تابع هدف مرتبط با آنها تعیین شوند، امکان آن هست که وزن ها را سناریوهای گوناگونی در نظر بگیریم که با توجه به شرایط محیط و بودجه و اولویت ها، امکان دخالت نظر کارشناسانه را فراهم می آورد. در این تحقیق، چندین وزن به مورد اجرا در آمده و مقادیر تابع هدف آنها ملاک گزینش وزن های بهینه قرار گرفته است.

۳-۳- استفاده از برنامه ریزی خطی در ارزیابی و

آمایش سرزمین

همان طور که اشاره شد، به دلیل پیچیدگی رسیدن به پاسخ صحیح در برنامه ریزی خطی و قرار داشتن مسئله بالا در زمره مسائل سخت، در این الگوریتم، ناگزیریم تابع و محدودیت ها را به صورت خطی تعریف کنیم. از این رو، به جای معادله (۴) از معادلات (۱۶-۱۲) برای محاسبه تراکم استفاده می شود (Aerts et.al., 2003).

1. land suitability map

۲. لازم است توضیح دهیم که در این تحقیق، نقشه های مطلوبیت سرزمین را نقشه های MCE نامیده ایم. این نام از این جهت استفاده شده است که نقشه های مورد نظر از طریق فرایند تصمیم گیری چندمعیاره حاصل شده اند. همان طور که در متن هم اشاره شده، این نقشه ها از نتایج تحقیق ماهینی و همکاران (۲۰۱۲) برگرفته شده اند.

مربوط به محدودیت‌ها ورودی‌های مدل به‌شمار می‌آیند. محدودیت‌ها مناطقی را شامل می‌شوند که نباید در به‌گزینی وارد شوند. در اجرای مدل، نقشه‌های ورودی در قالب ماتریس‌های مجزا وارد نرم‌افزار MATLAB شدند. جدول ۱ مساحت در نظر گرفته‌شده (A_{jk}) برای کاربری‌ها را، با توجه به شرایط منطقه نشان می‌دهد.

جدول ۱. مساحت در نظر گرفته‌شده برای کاربری‌های گوناگون

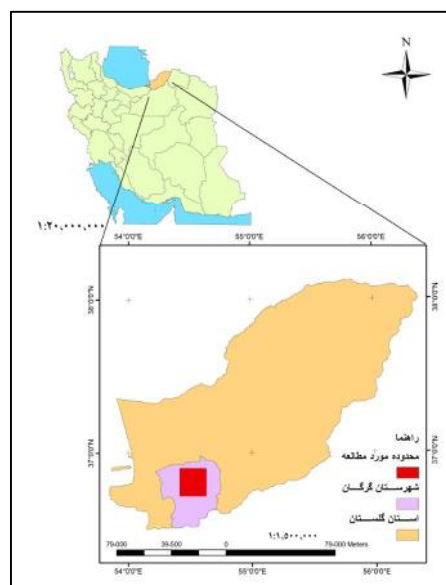
کاربری	مساحت	
	برحسب سلول	برحسب کیلومتر مربع
کشاورزی	۵۷۶۱	۱۳۶
جنگل	۴۸۷۵	۱۱۵
مرتع	۱۳۸۵	۳۳
توسعه شهری	۲۸۳۷	۶۷

۵- روش کار: استفاده ترکیبی از الگوریتم کلونی مورچگان و برنامه‌ریزی خطی

ماهیت تخصیص بهینه کاربری به‌گونه‌ای است که معرفی مدل در قالب شکل کلاسیک کلونی مورچگان که در آن همه عواملها (مورچه‌ها) از یک نوع و مجموعه‌اند، امکان‌پذیر نیست. از این‌رو، به ایجاد تغییراتی در آن و استفاده از شکل پیشرفته‌تری از الگوریتم بالا نیاز است. لیو و همکاران^۱ (۲۰۱۲) الگوریتم «کلونی مورچگان چندگانه»^۲ را برای این منظور پیشنهاد کردند. در این الگوریتم، فرض است به جای یک کلونی، چند کلونی مورچه وجود دارد که تعداد آن با انواع کاربری اراضی مورد بررسی منطبق است. تعداد مورچه‌های هر کلونی برابر تعداد سلول‌های (مساحت) در نظر گرفته‌شده برای هر کاربری است. به‌طور کلی، این الگوریتم شامل چند گام اصلی زیر است:

مرحله ۱. تعیین مبدائی تصادفی برای همه مورچه‌ها (از همه کلونی‌ها)

از نقشه‌ها [0 255] است، به‌گونه‌ای که صفر کمترین و ۲۵۵ بالاترین مطلوبیت سرزمین برای کاربری مربوط محسوب می‌شود. نقشه‌های یادشده با بهره‌گیری از معیارهای گوناگون اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی برای هر کاربری (از جمله شیب، ارتفاع، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، بافت، هدایت الکتریکی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، دما، بارندگی، تبخیر، عمق آب زیرزمینی، فاصله از شهر، منابع آب، جاده و بسیاری ویژگی‌های دیگر) حاصل شده است (ماهینی و همکاران، ۲۰۱۲). شایان ذکر است در جریان ایجاد نقشه‌ها، هریک از معیارها کمی‌سازی شدند و به‌صورت نقشه درآمدند. سپس، استاندارد شدند و به‌کمک وزن‌هایی که بر پایه مقایسه زوجی و فرایند سلسله‌مراتبی (AHP) حاصل شد، با فرایند ترکیب خطی وزنی در نرم‌افزار ایدرسی ترکیب شدند.



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه

کل منطقه مورد بررسی در اندازه تفکیک ۱۵۰ متر، ماتریسی در ابعاد (۱۳۲×۱۲۷) را شامل می‌شود. برای اینکه نقشه‌های MCE معیاری از هزینه اختصاص زمین به هر کاربری باشد، ارزش نقشه‌ها معکوس شد. چهار نقشه تهیه‌شده، به‌منزله متغیر C_{ijk} همراه نقشه بولین

1. Liu et al.
2. MACO: Multiple Ant Colony

نیز صفر خواهند بود (Podnar, 2003). همچنین، مقادیر ۱ متغیر باینری X_{ijk} به دست آمده از برنامه ریزی خطی آزاد شده بسیار به ندرت، در فرم برنامه ریزی عدد صحیح، مقدار صفر خواهند گرفت (Podnar, 2003). از این رو، تصمیم گرفته شد که تمام متغیرهایی که دارای مقدار ۱ و صفرند، به همان صورت باقی بمانند اما مقادیر اعشاری حاصل به گونه ای گرد شود. در پاسخ حاصل از برنامه ریزی خطی، بسیاری از متغیرهای X_{ijk} دارای مقادیری در بازه [۰.۵ ۱] بودند. پس تفاضلی بین مجموع تعداد پاسخ های ۱ هر کاربری و تعداد سلول های (مساحت) مورد نیاز برای هر کاربری محاسبه شد. سپس، از میان پاسخ های موجود در بازه [۰.۵ ۱] به مقدار تفاضل به دست آمده برای هر کاربری، مقادیری به ۱ گرد شدند. در نهایت، اگر کمبودی هم در هر کاربری مشاهده شد، از مقادیری که دارای پاسخ های ۰.۵ یا کمتر از آن بودند، به تصادف، متغیرهایی انتخاب و به ۱ گرد شدند. دیگر پاسخ ها نیز که بیشتر در بازه [۰.۵ ۱] بودند، به صفر گرد شدند. پس از این تغییرات، نتیجه نهایی ۴ ماتریس با ابعاد (۱۳۲×۱۲۷) بود که هر یک به موقعیت قرارگیری یک کاربری در منطقه مربوط می شد. چهار ماتریس بالا به مثابه موقعیت اولیه قرارگیری مورچه ها به الگوریتم کلونی مورچگان معرفی شدند.

مرحله ۲. انتخاب محل بعدی حرکت هر مورچه گام مهم در پیشرفت الگوریتم به سمت پاسخ بهینه محسوب می شود. اگر این انتخاب تصادفی صورت گیرد، الگوریتم کارآمدی چندانی نخواهد داشت. از این رو در الگوریتم بالا، احتمال آنکه مورچه n ام در لحظه t سلول (i, j) را اشغال کند، تابعی از مقدار کل فرمون ریخته شده در مسیر به وسیله مورچه ای از همان کلونی (τ_{ijk}) و اطلاعات پایه بیرونی است که برای کمک به

مرحله ۲. انتخاب مقصد بعدی برای همه مورچه ها. ضمن این عمل، فرمون ریزی صورت می گیرد (انتخاب باید به گونه ای باشد که محل بعدی انتخاب مورچه، از پیش، به وسیله مورچه ای از همان نوع انتخاب نشده باشد).

مرحله ۳. پس از آنکه همه مورچه ها مقصد بعدی خود را انتخاب کردند، ارزیابی صورت می گیرد و براساس آن، به روزرسانی فرمون انجام می شود (فاز به روزرسانی فرمون).

مرحله ۴. فرمون همه یال ها بر اثر تبخیر کم می شود (فاز تبخیر فرمون).

مرحله ۵. در صورت نیاز (برآورده نشدن شرایط خاتمه)، این مراحل تکرار می شود.

مرحله ۱. در الگوریتم هایی از این دست، معمولاً انتخاب محل شروع در کارآمدی الگوریتم تأثیر بسزایی دارد. به طور معمول، مبدأ شروع حرکت مورچه ها، نخست، به تصادف انتخاب می شود. اما در الگوریتمی که در این تحقیق پیشنهاد شده است، نتیجه حاصل از برنامه ریزی خطی مبدأ نخستین حرکت مورچه ها را تشکیل می دهد. بر این اساس، در اینجا به چگونگی اجرای مدل به کمک برنامه ریزی خطی گریز می زنیم.

چنان که در بیان ریاضی مدل نیز مشخص است (بخش ۳-۳)، مدل بالا یک مسئله برنامه ریزی خطی عدد صحیح (صفر و یک) است که با توجه به تعداد بسیار زیاد متغیرهای تصمیم، قطعاً مسئله ای سخت تلقی می شود. از این رو، برای حل مسئله در برنامه ریزی خطی، قید صحیح از مدل حذف شد و حل آن به صورت مسئله برنامه ریزی خطی معمول انجام شد. شایان ذکر است که مقادیر $G1$ و $G2$ برابر با هم و ۰.۵ در نظر گرفته شده است. تمامی مراحل حل مسئله برنامه ریزی خطی در نرم افزار GAMS نسخه ۲۴.۱ از طریق روش شاخه و کران^۱ و به کمک حل کننده CPLEX صورت گرفت. به این ترتیب، مقادیر نهایی به دست آمده برای متغیر X_{ijk} ارقامی در بازه [۰ ۱] بودند. باید توجه داشت که همه پاسخ های صفر به دست آمده در برنامه ریزی خطی آزاد شده^۲، در برنامه ریزی عدد صحیح

1. branch & bound

۲. برنامه ریزی خطی عدد صحیحی که در آن قید صحیح از مسئله برداشته شده است (LP relaxation)

جابه‌جایی و پس از آن، براساس مقدار تابع هدف معادله (۱۱) صورت گیرد. در صورتی که مقدار تابع پس از جابه‌جایی، در مقایسه با پیش از جابه‌جایی، وضعیت بهتری داشته باشد، تغییر پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت، مورچه به محل پیشین خود بازمی‌گردد.

مرحله ۳. شامل به‌روزرسانی فرومون است. وقتی همه مورچه‌ها انتخاب خود را کردند (در پایان هر تکرار)، ارزیابی از محل انجام می‌شود و براساس آن، مقداری $(\Delta\tau_{ijk})$ بر فرومون اولیه اضافه می‌شود (معادله (۲۲)).

$$\tau_{ijk}(t+1) \leftarrow \tau_{ijk}(t) + \Delta\tau_{ijk}(t) \quad (22)$$

مرحله ۴. پس از به‌روزرسانی فرومون، الگوریتم براساس معادله (۲۳) وارد فاز تبخیر می‌شود.

$$\tau_{ijk}(t) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ijk}(t) \quad (23)$$

در تحقیق حاضر، مقدار ρ را ۰.۱ در نظر گرفته‌ایم.

مرحله ۵. شرایط خاتمه معمولاً به شکل‌های گوناگونی مانند تعیین شرایط خاتمه آرمانی، تعیین مدت زمان یا مدت تکرارهای ثابت ماندن مقدار تابع هدف و یا مشخص کردن سقفی برای الگوریتم بر حسب زمان، تکرار و تعداد فراوانی تابع هدف تعریف می‌شود. در تحقیق حاضر، از روش سوم استفاده شد و به‌سادگی تعداد تکرارها، شرط خاتمه الگوریتم در نظر گرفته شد.

۶- نتایج

همان‌طور که گفته شد، به‌گزینی با اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار GAMS نسخه ۲۴.۱ آغاز شد. در این مرحله، فقط دو هدف حداقل کردن هزینه و حداکثر کردن تراکم مورد توجه بود که وزن هر دو تابع نیز در مدل برابر و ۰.۵ در نظر گرفته شد. وزن‌ها از آن جهت برابر در نظر گرفته شده‌اند که فقط تأثیر وارد شدن تابع تراکم بدون هیچ‌گونه برتری بر تابع هزینه مورد توجه قرار گیرد. با در پیش گرفتن آزادسازی در مدل و حل آن به‌صورت برنامه‌ریزی خطی معمول نتایج

هدایت مورچه در انتخاب، به همان کلونی معرفی شده است (η_{ijk}) (معادله (۱۹)).

$$p_{ijk}^n(t) = \begin{cases} \frac{(\tau_{ijk}(t))^\alpha (\eta_{ijk}(t))^\beta}{\sum_{m \in N_k} (\tau_{mk}(t))^\alpha (\eta_{mk}(t))^\beta}, & m \in N_k \\ 0, & m \notin N_k \end{cases} \quad (19)$$

مجموعه N_k محل‌هایی‌اند که در حال حاضر یا در مراحل پیش، به‌وسیله مورچه‌ای از همان کلونی اشغال نشده است. α و β ثوابتی‌اند که از سوی کاربر برای تغییر اهمیت تأثیر دو اهرم میزان فرومون و اطلاعات بیرونی در هدایت مورچه در انتخاب محل تعیین می‌شوند. در این تحقیق، مقدار α به میزان ۱ و مقدار β به میزان ۰.۱ در نظر گرفته شد. درحقیقت، با انتخاب این مقادیر برای ثوابت بالا تلاش شد، در مقایسه با کمک بیرونی، به تجربه و دانش جمعی اهمیت بیشتری داده شود. معادله (۲۰) طریقه محاسبه متغیر مربوط به اطلاعات پایه بیرونی (η_{ijk}) را مشخص می‌کند.

$$\eta_{ijk} = \frac{C_{ijk}}{\sum_m C_{ijk}} \quad (20)$$

درواقع، متغیر C_{ijk} مقادیر هزینه است که مطابق با ارزش سلول‌های مربوط به نقشه هزینه (ماتریس هزینه) هر کاربری است.

در ابتدا، $(t=0)$ مقدار ذخیره فرومون اولیه برای همه مورچه‌ها یکسان و براساس معادله (۲۱) محاسبه شد.

$$\tau_{ijk} = \frac{1}{\sum_{k=1}^K q_k} \quad (21)$$

به‌طوری‌که q گویای تعداد مورچه‌های هر کاربری است. لازم است یادآور شویم انتخاب محل جدید از سوی هر مورچه براساس معادله احتمال بیان شده و با کمک گرفتن از روش انتخاب چرخ رولت^۱ صورت گرفته است. توضیح درمورد مرحله ۲ آن است که وقتی مورچه‌ای محل جدیدی را براساس معادله (۱۶) می‌یابد، محل قبلی آن به‌وسیله مورچه‌ای از کلونی دیگر اشغال می‌شود. اما این جابه‌جایی ممکن است در جهت مطلوب نباشد. بنابراین، در الگوریتم تمهیدی اندیشیده شد که مقایسه‌ای بین حالت پیش از

1. roulette wheel selection
2. iteration

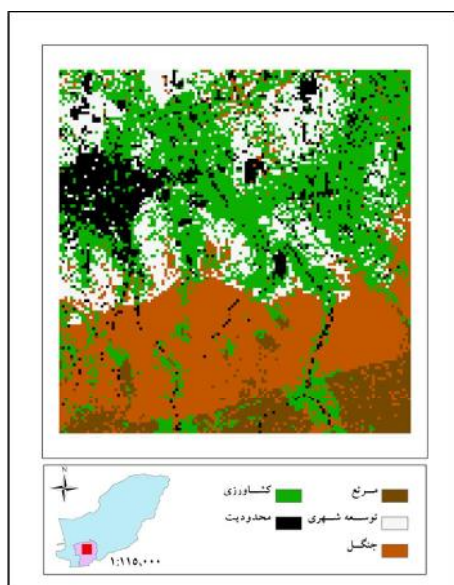
استاندارد نشده (NSD^۲) و نسبت این تعداد به تعداد کل پیکسل‌های هر کاربری یا به عبارتی، مساحت هر کاربری (نسبت NSD) را در نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم MOLA نشان می‌دهد. در این جدول هرچه مقادیر هزینه و پراکندگی کمتر باشد، شرایط بهینه‌تر است.

به صورت شکل ۳ به دست آمد. به منظور مقایسه نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خطی، مسئله بدون توجه به تابع تراکم در الگوریتم MOLA^۱ نیز اجرا شد که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. جدول ۲ مقادیر اصلی (بدون استاندارد کردن)^۲ هزینه، تعداد وجوه آزاد پیکسل‌های تشکیل‌دهنده هر کاربری (پراکندگی

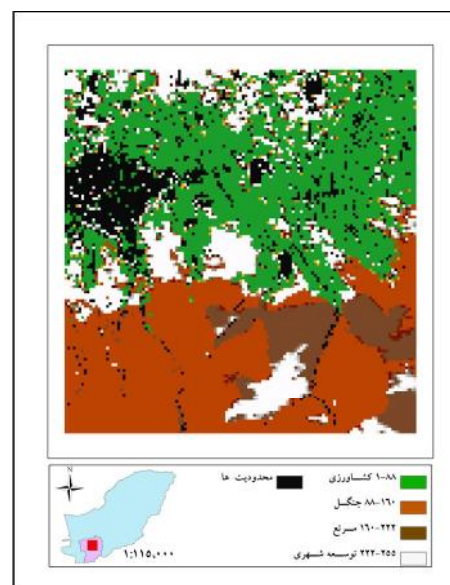
جدول ۲. میزان هزینه و درجه پراکندگی (عکس تراکم) در دو الگوریتم برنامه‌ریزی خطی و MOLA

نوع کاربری	برنامه‌ریزی خطی (LP)		الگوریتم MOLA		تفاوت هزینه (تفاوت =LP-MOLA)	تفاوت پراکندگی (تفاوت =LP-MOLA)
	میزان هزینه	پراکندگی (NDS)	میزان هزینه	پراکندگی (NDS)		
کشاورزی	۲۵۳۰۰۶	۴۵۶۴	۲۹۸۲۶۴	۷۷۲۲	۴۵۲۵۸	۳۱۵۸
جنگل	۳۱۹۵۳۲	۱۶۷۶	۴۴۳۳۱۶	۴۲۲۴	۱۲۳۷۸۴	۲۵۴۸
مرتع	۱۱۶۳۱۳	۸۶۰	۱۴۸۷۳۵	۱۵۰۴	۳۲۴۲۲	۶۴۴
توسعه شهری	۲۰۲۰۱۶	۳۷۴۸	۱۴۶۸۰۹	۵۱۴۰	-۵۵۲۰۷*	۱۳۹۲

* مقدار منفی نشان می‌دهد که میزان هزینه تخصیص در کاربری توسعه در الگوریتم MOLA به نسبت الگوریتم LP بهینه‌تر بوده است.



شکل ۴. تخصیص بهینه کاربری‌ها در مدل MOLA



شکل ۳. تخصیص بهینه کاربری‌ها در مدل برنامه‌ریزی خطی

1. Multi Objective Land use Allocation

۲. از آنجاکه پس از استاندارد کردن، مقادیر خام در بازه صفر و یک قرار می‌گیرند، تفاوت بین مقادیر کمتر مشخص می‌شود. از این رو، در جدول بالا مقادیر پیش از استاندارد کردن آمده است.

3. NDS: Non Standardized Distribution

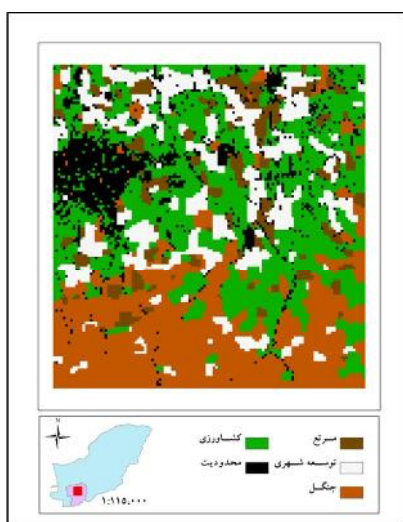
متفاوتی که در جدول ۳ نشان داده شده، یکبار بدون استفاده از نتایج الگوریتم برنامه‌ریزی خطی و به صورت مستقل، و یکبار به کمک نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خطی در ۱۰۰ تکرار به اجرا درآمد. شکل ۶ نتایج حاصل از اجرای مدل را که به صورت مستقل در الگوریتم کلونی مورچگان انجام شده، نشان می‌دهد. شکل ۵ حاصل اجرای مدل در ترکیب با نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خطی است. در دو نمونه ارائه شده در شکل‌های ۵ و ۶، وزن‌های توابع حداقل کردن هزینه، حداکثر کردن تراکم و حداکثر کردن پیوستگی، به ترتیب ۰.۲۵، ۰.۵۰ و ۰.۲۵ در نظر گرفته شده است.

در مرحله بعد، نتایج گردشده حاصل از برنامه‌ریزی خطی که شامل چهار ماتریس مربوط به موقعیت چهار کاربری کشاورزی، جنگل، مرتع و توسعه است، به همراه ماتریس مربوط به محدودیت‌های موجود در منطقه وارد نرم‌افزار متلب^۱ شد و در برنامه‌ای که بر پایه الگوریتم کلونی مورچگان در این نرم‌افزار نوشته شد، مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر α و β ، به ترتیب ۱ و ۰.۱ در نظر گرفته شد. با انتخاب این مقادیر تلاش شد، درمقایسه با کمک بیرونی، به تجربه و دانش جمعی (که اساس مطرح شده در الگوریتم کلونی مورچگان است) اهمیت بیشتری داده شود. مدل براساس وزن‌های

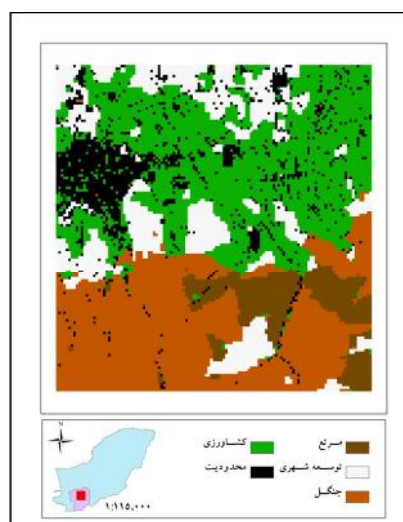
جدول ۳. مقادیر تابع هدف با توجه به وزن‌های گوناگون در الگوریتم کلونی مورچگان^۱ و الگوریتم ترکیبی^۲

نمونه	وزن‌های در نظر گرفته شده برای توابع			مقادیر اصلی توابع				پیوستگی	تراکم	هزینه
	هزینه	تراکم	پیوستگی	LP-MACO	MACO	LP-MACO	MACO			
۱	۰.۱	۰.۲	۰.۷	۰.۶۸۷۴	۰.۶۹۳	۰.۸۱۵۸	۰.۸۱۹۶	۰.۹۸۹۱	۰.۹۸۱۴	۰.۷۸۰۸
۲	۰.۲۵	۰.۳۷۵	۰.۳۷۵	۰.۶۸۸۷	۰.۶۹۱۸	۰.۸۳۰۹	۰.۸۴۸۱	۰.۹۸۷۱	۰.۹۷۷	۰.۵۰۵۰
۳	۰.۳۵	۰.۳۲۵	۰.۳۲۵	۰.۶۸۸۹	۰.۶۹۲۳	۰.۸۳۰۱	۰.۸۳۹۲	۰.۹۸۷۱	۰.۹۷۶۱	۰.۳۴۴۷
۴	۰.۴۵	۰.۲۷۵	۰.۲۷۵	۰.۶۸۸۳	۰.۶۹۰۱	۰.۸۱۶۸	۰.۸۴۳۷	۰.۹۸۶۵	۰.۹۷۵۸	۰.۱۸۲۴
۵	۰.۵	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۶۸۶۸	۰.۶۹۱	۰.۸۲۶	۰.۸۳۹۷	۰.۹۸۶۴	۰.۹۸۲	۰.۱۰۶۵
۶	۰.۲۵	۰.۵	۰.۲۵	۰.۶۸۸۶	۰.۶۸۰۲	۰.۸۳۵۴	۰.۸۴۲۶	۰.۹۸۶۶	۰.۹۸۴۲	۰.۴۹۳۷
۷	۰.۳۲۵	۰.۳۲۵	۰.۳۵	۰.۶۸۷۸	۰.۷۰۱	۰.۸۲۰۵	۰.۸۳۸۴	۰.۹۸۷۷	۰.۹۸۴۵	۰.۳۸۶۷
۸	۰.۲۷۵	۰.۲۷۵	۰.۴۵	۰.۶۸۸۲	۰.۷۰۲۱	۰.۸۱۶	۰.۸۳۹۵	۰.۹۸۷۸	۰.۹۸۵۶	۰.۴۷۴۸
۹	۰.۱	۰.۱	۰.۸	۰.۶۸۶۹	۰.۶۹۹۸	۰.۸	۰.۸۰۰۴	۰.۹۹۲۲	۰.۹۸۱۲	۰.۷۹۵۰

۱. الگوریتم کلونی مورچگان (MACO) ۲. الگوریتم ترکیبی برنامه‌ریزی خطی و کلونی مورچگان (LP-MACO)



شکل ۶ استفاده مستقل از الگوریتم کلونی مورچگان

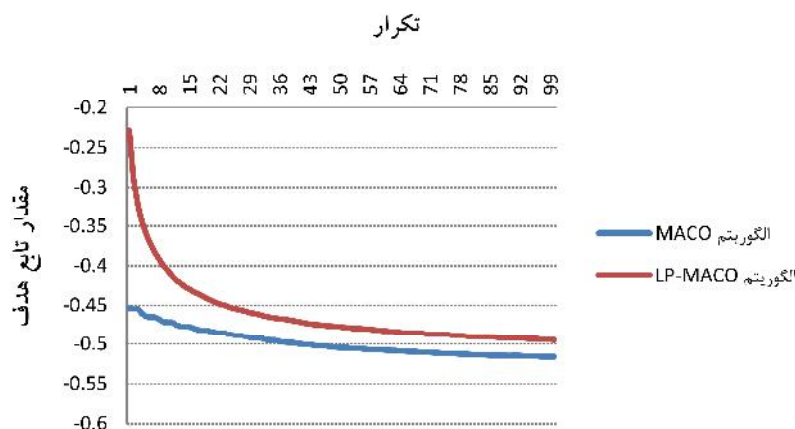


شکل ۵ استفاده ترکیبی برنامه‌ریزی خطی و کلونی مورچگان

1. MATLAB

نیستند. حال آنکه معمولاً در تخصیص بهینه کاربری‌ها، به‌ویژه در مدل‌های رستری با تعداد بسیار متغیرهای تصمیم مواجه‌ایم. با این حال، مدل‌های دقیق ممکن است مسیر درست به الگوریتم‌های ابتکاری را نشان دهند که به‌رغم در پی نداشتن پاسخ بهینه قطعی، قادر به حل مسائل بزرگ‌اند. مقایسه دو شکل ۳ و ۴ تفاوت بین پاسخ حاصل از برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم MOLA را نشان می‌دهد. نتیجه حاصل به‌خوبی تأثیر لحاظ شدن تابع تراکم را در ساماندهی کاربری‌ها نشان

شکل ۷ روند بهبود تابع هزینه را در مدل ترکیبی برنامه‌ریزی خطی و کلونی مورچگان و در استفاده مستقل از آن، پس از ۱۰۰ تکرار، نشان می‌دهد. همچنین، مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از الگوریتم MOLA، الگوریتم کلونی مورچگان (MACO) و الگوریتم ترکیبی برنامه‌ریزی خطی و کلونی مورچگان (LP-MACO) از نظر میزان هزینه، مقادیر تراکم و پیوستگی صورت گرفت که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.



شکل ۷. مقایسه روند تغییرات در دو مدل مستقل و ترکیبی الگوریتم کلونی مورچگان

می‌دهد. مقایسه کمی بین میزان هزینه و درجه تراکم دو الگوریتم در جدول ۲ نشان داده شده است که به‌روشنی، گویای تفاوت بین موارد بیان شده در این دو الگوریتم است. براساس یافته‌های مندرج در این جدول، فقط در یک مورد (کاربری توسعه شهری) میزان هزینه اختصاص یافته در الگوریتم برنامه‌ریزی خطی افزایش یافته^۱ و در بقیه موارد، این هزینه کاهش یافته است. همچنین، در همه کاربری‌ها میزان اصلی پراکندگی (عکس تراکم)، پس از اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی و

جدول ۴. مقایسه مقادیر هزینه، تراکم و پیوستگی در الگوریتم MOLA، MACO و LP-MACO

الگوریتم	هزینه	تراکم	پیوستگی
MOLA	۰.۷۲۱۵	۰.۶۹۳۷	۰.۹۰۸
MACO	۰.۶۹۳۵	۰.۸۲۲۳	۰.۹۸۱
LP-MACO	۰.۶۸۸	۰.۸۳۴۶	۰.۹۸۷۸

۷- بحث

در این تحقیق، سعی شده است از قابلیت مدل‌های دقیق و ابتکاری برای دستیابی به پاسخی بهینه در یک نمونه تخصیص کاربری اراضی استفاده شود. متأسفانه مدل‌های دقیق، به‌رغم دستیابی به پاسخ قطعی، قادر به حل مسائلی بزرگ با تعداد بسیار متغیرهای تصمیم

۱. لازم است توضیح دهیم که اعداد هزینه موجود در جدول ۲، براساس مقادیر اصلی هزینه پیش از استانداردسازی محاسبه شده است (یعنی مقادیر هزینه موجود در هر پیکسل عددی در بازه صفر تا ۲۵۵ است).

الگوریتم کلونی مورچگان نیز حدود ۳.۵ دقیقه زمان می‌برد. این در حالی است که محاسبات در سیستمی با قدرت پردازش ۲ GHz انجام گرفته است. همان‌طور که گفته شد، در این تحقیق، پیاده‌سازی الگوریتم مورد بحث در نرم‌افزار متلب صورت گرفته است. به دلیل امکان استفاده آسان از توابع و الگوریتم‌های گوناگون آماده، برنامه‌نویسی در این محیط نسبتاً آسان است. با این حال، به نظر می‌رسد چنانچه از زبان‌های برنامه‌نویسی دیگر مانند سی‌شارپ^۱ استفاده شود، هر چند شرایط تخصصی‌تری را می‌طلبد، می‌شود امیدوار بود زمان انجام دادن محاسبات کاهش یابد.

۸- نتیجه‌گیری

اولویت‌بندی بین کاربری‌ها و چینش بهینه آنها نوعی جمع‌بندی در کار آمایش یا برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین محسوب می‌شود. جز این، اهمیت پرداختن به آن هنگامی بیشتر می‌شود که اهداف متفاوتی، برخاسته از نظر دینفعان گوناگون، رقابت بین کاربری‌ها را بر سر تصاحب سرزمین بیشتر کند. این امر، به‌ویژه هنگام یکسان بودن درجه مطلوبیت سرزمین در بین کاربری‌ها شدیدتر است. با ورود سامانه اطلاعات جغرافیایی و قابلیت‌های آن در ذخیره، مدیریت، تحلیل و عینیت بخشیدن به داده‌های مکانی، جای خالی دستیابی به فرایندی که به شیوه‌ای سیستماتیک‌تر و مطمئن‌تر تصمیم‌گیری را آسان کند، به‌خوبی احساس می‌شود. در این راستا، به‌منظور تحلیل مسائل تصمیم‌گیری و چیره شدن بر پیچیدگی‌های آن، نیاز است که داده‌های مکانی با الگوریتم‌های گوناگون ترکیب شود. در دنیای امروز، در این زمینه گام‌های بسیار مثبتی برداشته شده است و پرداختن به آن برای مدیریت کارآمدتر منابع طبیعی و محیط‌زیست و حل تعارض میان دینفعان توصیه می‌شود. به همین منظور، در این تحقیق از دو الگوریتم برنامه‌ریزی خطی و کلونی مورچگان برای

درمقایسه با نتیجه حاصل از اجرای MOLA، کاهش یافته است. مقایسه نتایج حاصل از شکل‌های ۳، ۵ و ۶ نیز نشان می‌دهد استفاده ترکیبی از برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم کلونی مورچگان توانسته موفق‌تر عمل کند. در همه موارد، با انواع وزن‌های به‌کاررفته در جدول ۳، میزان هزینه، تراکم و پیوستگی در حالت استفاده ترکیبی از دو الگوریتم، درمقایسه با حالت استفاده تنها از الگوریتم کلونی مورچگان، بهبود یافته است. میزان تفاوت مقادیر نهایی تابع اصلی (که تابعی اسکالر از سه تابع هزینه، تراکم و پیوستگی است) در نتایج اجرای الگوریتم کلونی مورچگان و الگوریتم ترکیبی در وزن‌های ۰.۲۵، ۰.۵ و ۰.۲۵ که به‌ترتیب، برای توابع هزینه و تراکم و پیوستگی در نظر گرفته شده‌اند، درمقایسه با دیگر وزن‌ها، کمتر بوده است. میزان بهبود مقادیر استاندارد هزینه و تراکم و پیوستگی براساس میانگین همه وزن‌های آزمون‌شده، ۰.۰۰۵، ۰.۰۰۱ و ۰.۰۰۶ بوده است. این مقادیر از آنجاکه مقادیری استاندارد شده‌اند، کوچک به‌نظر می‌آیند اما میزان تأثیر آنها در تفاوت دو شکل ۵ و ۶ به‌روشنی مشخص است. همچنین، مقایسه مقادیر استاندارد شده هزینه، تراکم و پیوستگی که در جدول ۴ آمده، گویای آن است که مدل ترکیبی، به‌نسبت الگوریتم MOLA، از نظر میزان هزینه و تراکم و پیوستگی، به‌ترتیب، ۰.۰۳، ۰.۱ و ۰.۰۷ بهتر عمل کرده است. نمودار شکل ۷ نشان می‌دهد که اگرچه الگوریتم مستقل کلونی مورچگان به‌سمت پاسخ بهینه پیش می‌رود، برای این الگوریتم در زمانی بیش از ۱۰۰ تکرار این امکان وجود دارد که مقدار تابع هزینه در الگوریتم ترکیبی برابر با تکرار صدم باشد. استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری این امکان را فراهم می‌آورد که اهداف دیگر (مانند سازگاری بین کاربری‌های مشابه و یا هزینه تبدیل زمین و بسیاری موارد دیگر) را نیز بشود به مدل وارد کرد و در نتیجه، ساماندهی ملموس‌تر با دخالت دادن جوانب بیشتر را ارائه داد. در ابعاد مسئله مورد نظر و با این تعداد متغیر تصمیم، زمان حل مسئله برنامه‌ریزی خطی حدود پنج دقیقه است و هر تکرار در

1. C#

کاهش چشمگیری خواهد یافت.

۹- منابع

- Aerts, J.C.J.H., Eisinger, E., Heuvelink, G.B.M. & Stewart, T. J., 2003, **Using Linear Integer Programming for Multi-Site Land- Use Allocation**, *Geographical Analysis*, 35(2), PP. 148-169.
- Ahmed, A. & Glasgow, J., 2012, **Swarm Intelligence: Concepts, Models and Applicatios**, Technical Report 2012-585, School of Computing, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada K7L3N6.
- Ausseil, A.G.E., Herzig, A. & Dymond, J.R., 2012, **Optimization Land Use for Multiple Ecosystem Services Objectives: A Case Study in the Waitaki Catchment, New Zealand**, International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), Leipzig, Germany, July 1-5.
- Beyer, H., Dujardin, Y., Watts, M. & Possingham, H., 2016, **Solving Conservation Planning Problems with Linear Programming**, *Ecological Modelling*, 328, PP. 14-22.
- Blum, C. & Merkle, D. (eds), 2008, **Swarm Intelligence- Introduction and Applications**, Natural Computing. Springer, Berlin.
- Bribiesca, E., 1997, **Measuring 2-D Shape Compactness Using the Contact Perimeter**, *Computers and Mathematics with Applications*, 33(11), PP. 1-9.
- Carsjens, G.J. & Knaap, W.G.M. van der., 2002, **Strategic Land-Use Allocation: Dealing with the Spatial Relationships and Fragmentation of Agriculture**, *Landscape Urban Planning*, 58, PP. 171-179.
- Chuvieco, E., 1993, **Integration of Linear Programming and GIS for Land-Use Modelling**, *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(1), PP. 71-83.
- Cova, T.J. & Church, R.L., 2000, **Exploratory Spatial Optimization and Site Search: Neighborhood Operator Approach**, *Computers, Environment and Urban Systems*, 21, PP. 401-419.
- Cromely, R.G. & Hanink, D.M., 2003, **Scale-Independent Land-Use Allocation Modeling in Raster GIS**, *Cartography and Geographic Information Science*, 30, PP. 343-350.

به‌گزینی چهار کاربری کشاورزی، جنگل، توسعه و مرتع استفاده شده است. الگوریتم کلونی مورچگان از آن جهت انتخاب شده است که در مطالعات به‌گزینی کاربری اراضی که در آنها از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده، کمتر آزموده شده است (Liu et al., 2012). استفادهٔ ترکیبی از دو الگوریتم دقیق و ابتکاری در مسئلهٔ برنامه‌ریزی سرزمین که به چند کاربری می‌پردازد، در تحقیق دیگری از سوی نگارنده مشاهده نشده است. همچنین، مطالعهٔ اخیر سعی داشته، از طریق حذف قید صحیح از مدل برنامه‌ریزی خطی بیان‌شده، بر مشکل حل مسئله در مدل‌های خطی که با افزایش ابعاد منطقهٔ مورد مطالعه ایجاد می‌شود، فائق آید. این درحالی است که در مطالعات پیشین صورت‌گرفته در این حیطة به‌کمک برنامه‌ریزی خطی، مشکل مورد نظر مانع از تعریف چنین مسائلی در ابعاد بزرگ یا منطقی شده است (Minor & Jacob, 1994; Williams & Reville, 1998; Cova & Church, 2000; Beyer et al., 2016; Aerts, 2003). مورد دیگر آن است که هرچند در روش‌های فراابتکاری و یا بسیاری روش‌های دیگر امکان تعیین وزن بهینه وجود دارد، به‌نظر می‌رسد امکان آن هست که وزن‌ها را سناریوهای مدیریتی در نظر گرفت زیرا فرایند برنامه‌ریزی سرزمین فرایندی تعاملی است و نتایج آن، برای بحث و تبادل نظر، باید در دسترس ذینفعان قرار گیرد. از این‌رو، نتایج آن باید امکان تغییر داشته باشد. امکان تغییر وزن‌ها نقطهٔ قوت و اهرمی است که کارشناسان ممکن است، با توجه به شرایط (مکان، زمان و تغییر دیدگاه‌های ذینفعان)، برای تغییر و بهبود نتایج برنامه‌ریزی سرزمین از آن بهره‌گیرند. نکته‌ای که جای بررسی و مطالعهٔ بیشتر دارد، امکان ترکیب اجرای الگوریتم‌های گوناگون در نرم‌افزاری واحد است. اگرچه ممکن است این کار در نتیجهٔ نهایی تأثیری نداشته باشد، از آنجاکه هریک از محیط‌های نرم‌افزاری یا برنامه‌نویسی داده‌های ورودی را در قالب خاص خود می‌پذیرند، دخالت فعال کاربر ضروری است. با این وصف، در صورتی که بشود همهٔ مراحل را در محیط نرم‌افزاری واحدی انجام داد، مشکلات مورد بحث

- Dai, W., 2010, **Spatial Decision Support for Multi-Objective Land Allocation: With Application to Conservation Reserve Design**, Clark University, Ph.D Thesis.
- Deneubourg, J.L., Goss, S., Franks, N., Senova-Franks, A., Detrain, C. & Chretien, L., 1991, **The Dynamics of Collective Sorting: Robot-Like Ants and Ant-Like Robots**, In J.-A Meyer & S.W. Wilson (Eds.), Proceedings of the first International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats (PP. 356-363), Cambridge, MA, MIT Press.
- Dorigo, M., 1992, **Optimization, Learning and Natural Algorithms**, Dip. Electronica e Informazion, Politecnico di Milano Italy, Ph.D Thesis.
- Dorigo, M. & Stutzle, T., 2004, **Ant Colony Optimization**, The MIT press, Cambridge, 305 P.
- Eastman J.R. & Jiang H., 1996, **Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation**, Proceedings of Second International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies, Fort Collins, Colorado, May.
- Eberhart, R.C., Shi, Y. & Kennedy, J., 2001, **Swarm Intelligence**, Morgan Kaufmann Publishers, Burlington, Massachusetts, USA.
- Gabriel, S.A., Faria, J.A., Molgen, G.E., 2006, **A Multiobjective Optimization Approach to Smart Growth in Land Development**, Socio Econ Plan Science, 40(3), PP. 212-248.
- Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J.L. & Pasteels, J.M., 1989, **Self-Organized Shortcuts in the Argentine Ant**, Naturwissenschaften, 76, PP. 579-581.
- Liu, X., Li, X., Shi, X., Huang, K. & Liu, Y., 2012, **A Multi-Type Ant Colony Optimization (MACO) Method for Optimal Land Use Allocation in Large Areas**, International Journal of Geographical Information Science, 26(7), PP. 1325-1343.
- Malczewski, J., 2004, **GIS-Based Land-Use Suitability Analysis: A Critical Overview**, Progress in Planning, 62(1), PP. 3-65.
- McDonnell, M., 2000, **Mathematical Methods for the Optimisation of Nature Reserve Design**, Department of Applied Mathematics, University of Adelaide, B. Sc. Thesis.
- Minor, S.D. & Jacobs, T.L., 1994, **Optimal Land Allocation for Slid and Hazardous Waste Landfill Siting**, Journal of Environmental Engineering, 120, PP. 1095-1108.
- Panigrahi, B.K., Shi, Y. & Lim, M.H. (eds.), 2011, **Handbook of Swarm Intelligence. Series: Adaptation, Learning, and Optimization**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (ISBN 978-3-642-17389-9), 7.
- Patton, D.R., 1975, **A Diversity Index for Quantifying Habitat Edge**, Wildlife Society Bulletin, 3 (4), PP. 171-173.
- Podnar, H., 2003, **Genetic Algorithm for Network Cost Minimization Using Threshold Based Discounting**, Journal of Applied Mathematics and Decision Science, 7(4), PP. 207-228.
- Salman Mahini, A., Shamanian, G., Khormali, F., Onagh, M., Vahed, S., Barani, H., Dehghani, A., MirKarimi, H., Najafinezhad, A., Sadoddin, A., Raghimi, M., Zare, A., Mehri, A., Kamyab, H., Momeni, I., Karimi, S., SaeedSabae, M., Asadollahi, Z., Galdavi, S., Sedighi, E., Safarian, A., Saeidi, S., Sefidian S., Davar, L., Sheidaei, Naeimi, B., Abbasi, Jahanshahi, M., Gholami, N., 2012, **Golestan Land use Planning (Open project)**.
- Sharma, S.K. & Lees, B.G., 2004, **A Comparison of Simulated Annealing and GIS Based MOLA for Solving the Problem of Multi-Objective Land Use Assessment and Allocation**, In Proceedings of the 17th International Conference on Multiple Criteria Decision Analysis, Whistler, Canada, August 6-11.
- Stewart, T.J., Janssen, R. & Herwijnen, M.v., 2004, **A Genetic Algorithm Approach to Multi Objective Land Use Planning**, Computer and

Operation Research, 31(14), PP. 2293-2313.

Walmsley, A.J., Walker, D.H., Mallawaarachchi, T. & Lewis, A., 1999, **Integration of Spatial Land Use Allocation and Economic Optimization Models for Decision Support**, In MODSIM 99: International Congress on Modelling and Simulation: Modelling and Simulation Society of Australia.

Williams, J.C. & ReVelle, C.S., 1998, **Reserve Assemblage of Critical Areas: A Zero-One Programming Approach**, European Journal of Operational Research, 104(3), PP. 497-509.

Williams, J.C., 2002, **A Zero-One Programming Model for Contiguous Land Acquisition**, Geographical Analysis, 34(4), 330-349.