

## به کارگیری سنجه‌های سیمای سرزمین در تخصیص کاربری اراضی

مریم سعید صبائی<sup>۱\*</sup>، رسول سلمان‌ماهینی<sup>۲</sup>، سید محمد شهرآئینی<sup>۳</sup>، سید حامد میرکریمی<sup>۴</sup>، نورالدین دبیری<sup>۳</sup>

۱. دکتری محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
  ۲. دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
  ۳. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
  ۴. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۵)

### چکیده

ایجاد و حفظ لکه‌های بزرگ‌تر در چیدمان کاربری‌ها یا کاربرد مفهوم تراکم در چینش آن‌ها، معیار الهام‌گرفته‌ای از طبیعت است که می‌تواند به نحوی شایسته‌تر در به‌گزینی کاربری‌ها لحاظ شود. همزمانی معیار تراکم و پیوستگی در به‌گزینی کاربری اراضی، بیشتر، اتخاذ رویکردی پیشگیرانه است تا برآورد شدت تغییرات پس از وقوع حادثه. در این مطالعه به‌منظور چگونگی لحاظ تراکم و پیوستگی در به‌گزینی کاربری اراضی، منطقه مورد مطالعه مانند ماتریسی در نظر گرفته شد که هر سلول آن رنگ یا ارزشی دارد که نوع کاربری اختصاص یافته به آن را نشان می‌دهد. در چنین شرایطی چیدمان تراکم و پیوسته زمانی پیش می‌آید که همه پیکسل‌ها و نیز لکه‌های هم‌رنگ (هم‌ویژگی) در مجاورت هم قرار گیرند. با این فرض، مجموعه‌ای از معادلات برای دستیابی به تراکم و پیوستگی در تخصیص کاربری اراضی معرفی شده است. در نهایت، معادلات پیشنهادی در نمونه کاربردی از برنامه‌ریزی سرزمین در بخشی از شهرستان گرگان آزمون شدند. برای آزمون روش پیشنهادی الگوریتم هیبرید برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم کلونی مورچگان به کار گرفته شد. نتایج نشان داد روش و معادلات یادشده توانسته است در دستیابی به این معیارها موفق عمل کنند.

### کلیدواژگان

پیوستگی، تخصیص کاربری اراضی، تراکم، سنجه‌های سیمای سرزمین.

---

\* نویسنده مسئول، رایانامه: sabaee.maryam1@gmail.com

## بیان مسئله

امروزه محققان، برنامه‌ریزان و مدیران منابع طبیعی امیدوارانه در جست‌وجوی یافتن شیوه‌هایی جامع برای ایجاد آشتی بین کاربری‌های انسان‌ساخت و حفظ کیفیت محیط‌زیست هستند. مک‌ایتایر و هابز<sup>۱</sup> چهار کلاس کلی برای شرایط ساختاری سیمای سرزمین در نظر گرفتند، دست‌نخورده (Intact)، چندپاره‌شده (Variegated)، پراکنده (پخش) شده (Fragmented) و بقایافته (بقایایی چند از پیکره اصلی باقیمانده) (Relictual) (Lindenmayer & Fischer, 2006, p.32). این روند گویای آن است که به موازات گسترش حضور انسانی بر میزان کاربری‌های انسان‌ساخت افزوده شده، از وسعت اکوسیستم‌های بکر و دست‌نخورده کاسته می‌شود (McIntyre & Hobbs, 1999, p.1290)، اثر حاشیه‌ای شدیدتر شده و هسته و مرکزیت اکوسیستم‌های طبیعی بیشتر در معرض تغییر و خطر از بین رفتگی قرار می‌گیرد تا جایی که در نهایت، تخریب کل محیط صورت می‌گیرد. با این حال، این تغییر گریزناپذیر می‌تواند با حفظ لکه‌های بزرگ‌تر در سیمای سرزمین و مدیریت صحیح‌تر آن‌ها شکل متوازن‌تری به خود بگیرد (OWC, 2013, p.26). حفظ و ایجاد لکه‌های بزرگ‌تر و متراکم‌تر در نحوه چینش کاربری‌ها، معیار نسخه‌شده و الهام‌گرفته‌ای از طبیعت است که می‌تواند به شکل پررنگ‌تر و شایسته‌تر در جریان برنامه‌ریزی سرزمین لحاظ شود. مفاهیم «تراکم» و «پیوستگی» لکه‌های موجود در سیمای سرزمین، اغلب به‌عنوان سنجه‌های تعیین سلامت و کیفیت آن، در کنار سنجه‌های دیگری مانند اندازه<sup>۲</sup>، شکل<sup>۳</sup>، سطح هسته<sup>۴</sup>، مجاورت و نزدیکی<sup>۵</sup>، هماهنگی<sup>۶</sup>، پراکندگی<sup>۷</sup> و درجه ارتباط<sup>۸</sup>، مفاهیمی شناخته‌شده هستند، اما کاربرد همزمان آن‌ها در

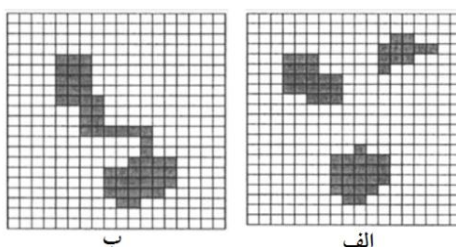
- 
1. McIntyre & Hobbs
  2. Size
  3. Shape
  4. Core Area
  5. Proximity
  6. Contrast
  7. Dispersion
  8. Connectivity

جریان به‌گزینی و چینش کاربری اراضی، یا به‌نوعی برنامه‌ریزی سرزمین، بیشتر، اتخاذ رویکردی پیشگیرانه و آینده‌نگر است تا برآورد شدت تغییرات پس از وقوع حادثه و رویداد. در این زمینه، این مطالعه سعی دارد چگونگی دخالت تراکم و پیوستگی را به‌عنوان دو سنجه مهم سیمای سرزمین به‌طور هم‌زمان در جریان چینش کاربری‌ها در منطقه‌ای از شهرستان گرگان برای نمونه، بررسی کند. برای این منظور الگوریتم هیبرید کلونی مورچگان و برنامه‌ریزی خطی به‌کار گرفته شده است. با این حال، تأکید اصلی مطالعه حاضر بر الگوریتم‌های به‌کارگرفته‌شده نیست، بلکه بر نحوه ورود دو سنجه یادشده و چگونگی شکل‌گیری توابع مربوط به آن‌ها در محاسبات است.

### مبانی نظری

چگونگی به‌کارگیری مفاهیم تراکم و پیوستگی از پرسش‌های مورد علاقه محققان در بسیاری از جنبه‌های تحقیق در طول تاریخ بوده است. اندازه‌گیری تراکم در طراحی مراکز سیاسی (Harris, 1964, p.209; Kaiser, 1966, p.210; Hofeller & Grofeman, 1990, p.50)، انتخاب و گزینش نواحی با خصوصیات ویژه مکانی (Wentz, 1997, p.205)، تعیین ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز (Bardossy & Schmidt, 2002, p.932) و طراحی شهرها (C. Y., 2004, p.312; Crewe & Forsyth, 2011, p.268)، همگی از این موارد است. در حقیقت، تراکم مفهومی مکانی و هندسی دارد و مشخصه‌ای از شکل است که بر حسب کمیتی عددی درجه یا شدت درهم‌رفتگی شکل را توصیف می‌کند (Gillman, 2002, p.11). اما در بیان تمایز بین تراکم و پیوستگی، نظر بیان‌شده از جانب ارتس و همکاران (۲۰۰۳) بسیار گویا خواهد بود. به عقیده آن‌ها اگر کل منطقه مورد مطالعه، ماتریسی از سلول‌ها تصور شود به‌طوری که هر سلول بر حسب ارزش تعلق‌گرفته به آن، گویای کاربری مشخصی باشد، تراکم زمانی است که سلول‌های دارای کاربری مشابه در کنار هم قرار گیرند. در حالی که پیوستگی زمانی است که لکه‌های دارای کاربری‌های مشابه، در مجاورت هم باشند (شکل ۱). به‌عبارتی، تراکم برای سلول و پیوستگی برای لکه مصداق می‌یابد (Diamond & Wright 1991, p.103; Cova & Church, 2000, p.402; Williams, 2002, p.332). بدیهی است زمانی که بین دو لکه پیوستگی ایجاد شود، دو لکه تبدیل به یک لکه خواهند شد. از

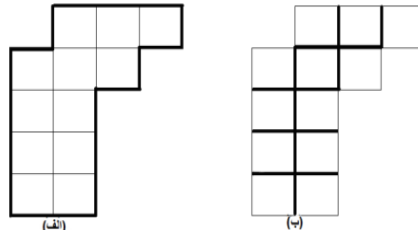
این رو، محاسبه تعداد لکه‌ها می‌تواند معیاری از پیوستگی محسوب شود (Williams, 2002, p.333).



شکل ۱. تمایز بین تراکم (الف) و پیوستگی (ب) (Aerts et.al., 2003)

بر پایه نظریه اصول برابری محیطی<sup>۱</sup> در هندسه، بین اشکال هندسی با مساحت یکسان، دایره، بزرگ‌ترین نسبت محیط به سطح را دارد (Patton, 1975, p.172). به این ترتیب، ارتباط بین محیط و سطح به عنوان اصل کلاسیک محاسبه تراکم مطرح شد. در این زمینه، روش‌های مختلفی گسترش یافته‌اند که در مدل‌های برداری و پلی‌گونی کاربرد دارند (Miller, 1953, p.2; Osserman, 1978, p.1185; Li et al., 2013, p.3). در دنیای رستری، بریبیسکا<sup>۲</sup> (۱۹۹۷) روشی را برای محاسبه تراکم شکلی مجرد بر پایه محاسبه دامنه تغییرات در استاندارد کردن ابداع کرد (Bribiesca, 1997, p.4). منظور از مجرد بودن شکل آن است که تراکم شکل در یک فضای تعاملی و در ارتباط با اشکال دیگر بررسی نمی‌شود. فرض نخستین در این روش آن است که یک شکل مجرد، متشکل از سلول‌هایی با طول یکسان در ابعاد (وجوه) است. در چنین شکلی، محیط نتیجه جمع وجوهی از پیکسل‌های تشکیل دهنده شکل است که بین دو پیکسل مشترک نیستند در مقابل محیط تماسی<sup>۳</sup> حاصل مجموع وجوهی از پیکسل‌های تشکیل دهنده شکل است که مشترک بین دو پیکسلند (شکل ۲).

- 
1. Isoperimetric
  2. Bribiesca
  3. Contact perimeter



شکل ۲. الف) محیط شکل و برابر ۱۸، ب) محیط تماسی و برابر ۱۵ (Bribiesca, 1997)

بر این اساس، برییسکا، محاسبه محیط تماسی را به‌عنوان معیاری از پراکندگی شکل معرفی کرد. معادله ۱ معیار نهایی استاندارد شده تراکم ( $C_{SC}$ ) برییسکا را نشان می‌دهد.

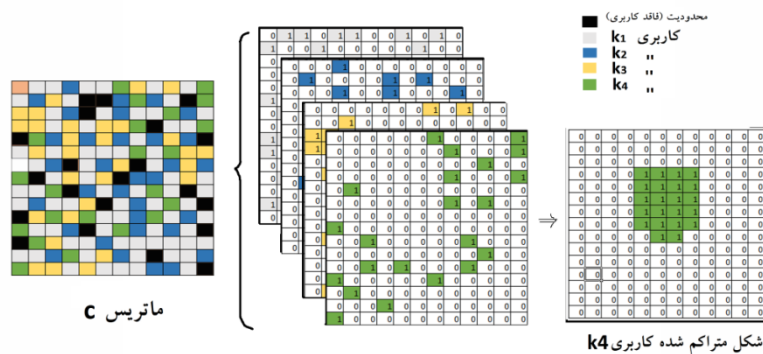
$$C_{SC} = \frac{CP - C_{min}}{C_{max} - C_{min}} \quad (1)$$

در این معادله متغیر ( $C_{min}$ ) حداقل تراکم، متغیر ( $C_{max}$ )، حداکثر تراکم ممکن و متغیر ( $CP$ ) محیط تماسی شکل را نشان می‌دهد. در مقایسه با این نگاه، زاویه نگاه کاربردی‌تری در جهان واقعی وجود دارد که در آن اشکال نه به صورت مجرد، بلکه در ارتباط با هم بررسی می‌شوند. این موضوع «منطقه‌بندی»<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (Li et al., 2013). تخصیص بهینه سرزمین، به‌گزینی یا چینش بهینه کاربری اراضی نمونه‌ای از منطقه‌بندی است. تحقیق پیش رو قصد دارد چگونگی ورود و محاسبه تراکم و پیوستگی در چینش بهینه کاربری اراضی را که نوعی منطقه‌بندی محسوب می‌شود، بررسی کند.

### روش تحقیق

برای توصیف چگونگی در نظر گرفتن تراکم در به‌گزینی کاربری‌ها، می‌توان مطابق با شکل ۳ واحدهای سرزمینی اختصاص یافته به کاربری‌های مختلف را که در یک منطقه پراکنده شده‌اند، مانند قطعات (سلول‌ها) پراکنده تشکیل‌دهنده اشکال مختلف در یک ماتریس دانست که هر یک با

یک رنگ نشان داده شده است. برای مثال از آنجا که در شکل ۳ چهار کاربری مورد توجه است، هم‌پایه آن چهار شکل ترکیبی با چهار رنگ مختلف که اجزایش پراکنده شده‌اند، تعریف‌شدنی است. در این صورت، اگر سعی شود سلول‌های پراکنده یک رنگ در کنار هم قرار گیرند و شکلی ترکیبی (مجموعه رنگی) متراکم را تشکیل دهند، مانند آن است که بخواهیم واحدهای دارای کاربری مشابه را متراکم‌تر چینش کنیم. اما در فرایند بهینه‌شدن چینش سلول‌های مشابه، ممکن است نه یک لکه، بلکه چندین لکه دارای ویژگی مشابه ایجاد شود. اینجا است که مفهوم پیوستگی عینیت می‌یابد. اگر بتوان در مسیر چینش طوری عمل کرد که تعداد لکه‌های منسوب به هر کاربری کاهش یابد، مفهوم پیوستگی تحقق خواهد یافت. در الگوریتم‌های بهینه‌سازی این کار به صورت تغییر تدریجی در تکرارهای مختلف حلقه اصلی الگوریتم در جهت ارتقای مقدار تابع اصلی که معیار تراکم و پیوستگی در آن لحاظ شده، امکان‌پذیر است. نخستین تکرار، معمولاً چینش تصادفی رنگ‌های مختلف در ماتریس گویای منطقه است که گام به گام برای بهبود مقدار تابع محاسبه‌کننده میزان تراکم و پیوستگی اصلاح و بهینه می‌شود.



شکل ۳. چگونگی تغییر نحوه چینش کاربری‌ها از شکل پراکنده به شکل ترکیبی متراکم

### محاسبه معیار تراکم

در محاسبه تراکم از معیار محاسبه تراکم شکل مجرد (برایسکا، ۱۹۹۷)، کمک گرفته شده است. با این توصیف که اصلاحاتی در این مدل انجام گرفت و برای استفاده در یک فضای ماتریسی

تعاملی متشکل از چند شکل تغییر یافته است. در واقع، اگر بتوان پس از چینش اجزای تشکیل دهنده مجموعه‌ای رنگی که  $k$  به یک نوع کاربری اشاره دارد، در هر تکرار یک الگوریتم، نسبت محیط به سطح را در هر مجموعه رنگی پراکنده ایجادشده به دست آورد و این نسبت را با نسبت هم‌پایه در شرایط کاملاً پراکنده و غیرپراکنده مقایسه کرد، به‌نوعی معیار استاندارد محاسبه پراکندگی در هر تکرار رسیده‌ایم. این معیار با اصلاح معادله ۱ محاسبه تراکم شکل مجرد بریبیسکا (۱۹۹۷) به صورت معادله ۲ بیان می‌شود.

$$C_{SC_k} = \sum_{k=1}^K \left( \frac{CP_k - C_{min_k}}{C_{max_k} - C_{min_k}} \right) \quad (2)$$

در این معادله، متغیر  $(C_{SC_k})$  معیار تراکم استانداردشده، متغیر  $(CP_k)$ ، نسبت محیط به سطح شکل ترکیبی (مجموعه رنگی) پراکنده ایجادشده، متغیر  $(C_{min_k})$  حداقل تراکم یا به‌عبارتی، حداکثر پراکندگی ممکن و متغیر  $(C_{max_k})$  حداکثر تراکم یا حداقل پراکندگی ممکن را نشان می‌دهد. مشخصه  $(k)$  که به نوع کاربری اشاره می‌کند، در همه متغیرها نشان‌دهنده آن است که معیار تراکم باید در زمینه هر کاربری به‌طور مجزا و البته در هر تکرار از فرایند اجرای یک الگوریتم محاسبه شود. به این ترتیب، برای دستیابی به معیار استانداردشده تراکم در هر تکرار و درباره هر کاربری، چهار گام باید طی شود:

۱. محاسبه تراکم جاری (نسبت جاری محیط به سطح)، ۲ و ۳. محاسبه حداقل و حداکثر تراکم ممکن و ۴. محاسبه معیار استانداردشده تراکم (مطابق با معادله ۲)

۱. محاسبه تراکم جاری: با وام‌گرفتن از تعریف‌های محیط و محیط تماسی، در ماتریسی با چند شکل ترکیبی، هر شکل فقط زمانی مفهومی به نام «محیط تماسی» دارد که حداقل دو پیکسل از پیکسل‌های متشکله آن، در مجاورت هم قرار گیرند. در این صورت، اگر قبل از مجاورت پیکسل‌های هم‌ویژگی، هر پیکسل، چهار وجه آزاد داشته باشد، پس از مجاورت آن‌ها، یک وجه آزاد جای خود را به یک وجه تماسی می‌دهد. ارتباط بین «محیط تماسی» و «محیط» یک شکل ترکیبی را می‌توان مطابق با معادله ۳ بیان کرد (Bribiesca, 1997, p.4).

$$P_k = \varepsilon n_k - \gamma CP_k \quad (۳)$$

در این معادله، متغیر  $(P_k)$ ، محیط، متغیر  $(CP_k)$ ، محیط تماسی و متغیر  $(n_k)$ ، تعداد پیکسل‌های متشکله شکل را بیان می‌کند. مشخصه  $k$  به نوع کاربری اشاره می‌کند. هر پیکسل به دلیل یکسان بودن ابعادش، می‌تواند واحدی از سطح محسوب شود. از این رو، متغیر  $(CP_k)$  را می‌توان به نوعی معیاری از نسبت محیط به سطح در نظر گرفت (معادله ۴).

$$CP_k = \frac{P_k}{\varepsilon n_k - \gamma} \quad (۴)$$

این معیار همان تراکم جاری است که برای هر کاربری (شکل ترکیبی) باید محاسبه شود.  
**۲. محاسبه حداقل تراکم ممکن:** حداقل تراکم ممکن زمانی است که پیکسل‌های متشکله هر شکل در فضای ماتریسی منطقه مورد مطالعه، مطابق با شکل ۵ در شرایط کاملاً پراکنده قرار گیرند. اما دو عامل در این پراکندگی تأثیرگذار است:

- زوج یا فرد بودن تعداد پیکسل‌های تشکیل دهنده ماتریس منطقه مورد مطالعه
  - تعداد پیکسل‌های اختصاص داده شده (سلول‌های هدف) به یک کاربری
- ۱.۲. زوج بودن تعداد سلول‌های متشکله ماتریس منطقه مورد مطالعه: سه حالت امکان‌پذیر

است:

الف) اگر تعداد پیکسل‌های اختصاص داده شده به یک کاربری (شکل ترکیبی) مطابق با معادله ۵ باشد، حداقل تراکم ممکن آن از طریق معادله ۶ به دست می‌آید.

$$Px_k \leq B \quad \text{یا} \quad Px_k \leq \left\lfloor \frac{M \times N}{\gamma} \right\rfloor + \varepsilon \quad (۵)$$

$$C_{min_k} = \varepsilon Px_k \quad (۶)$$

متغیر  $(Px_k)$  به تعداد سلول‌های هدف تعیین شده در هر کاربری در شروع به‌گزینی اشاره می‌کند،  $M$  و  $N$ ، به ترتیب، تعداد ردیف و ستون ماتریس معرف منطقه مورد مطالعه‌اند. متغیر



$(C_{min_k})$  نیز حداقل تراکم ممکن را نشان می‌دهد. به‌منظور راحتی در تعریف‌های بعدی، سمت راست نامعادله ۵ با مشخصه  $(B)$  نشان داده شده است.

ب) اگر تعداد سلول‌های هدف تعیین شده برای یک کاربری در محدوده بیان شده در معادله ۷ باشد، حداقل تراکم ممکن از طریق معادله ۸ حاصل می‌شود.

$$B < Px_k \leq B + D \quad \text{یا} \quad B < Px_k \leq B + \left[ \left( \left\lfloor \frac{N}{\gamma} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{M}{\gamma} \right\rfloor \right) - \varepsilon \right] \quad (7)$$

$$C_{min_k} = \varepsilon Px_k - \gamma D \quad (8)$$

مشخصه  $(D)$  به‌منظور آسانی در تعریف‌های بعدی هم‌پایه عبارت  $\left[ \left( \left\lfloor \frac{N}{\gamma} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{M}{\gamma} \right\rfloor \right) - \varepsilon \right]$  در نظر گرفته شده است.

ج) اگر تعداد پیکسل‌های اختصاص داده شده به یک کاربری مطابق با معادله ۹ باشد، حداقل تراکم ممکن از طریق معادله ۱۰ محاسبه‌شدنی است.

$$Px_k > B + D \quad (9)$$

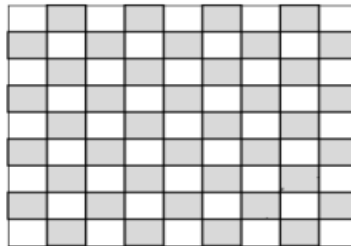
$$C_{min_k} = \varepsilon Px_k - (\gamma D + \varepsilon C) \quad (10)$$

متغیر  $(C)$ ، از طریق معادله ۱۱ قابل دستیابی است.

$$C = Px_k - (B + D) \quad (11)$$

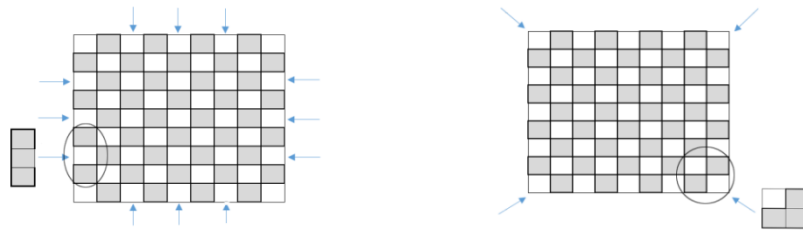
منطق حاکم بر معادلات یادشده آن است که اگر بخواهیم پیکسل‌های اختصاص یافته به هر کاربری در ماتریس گویای منطقه مورد مطالعه را در شرایط بسیار پراکنده چینش کنیم، پراکنده‌ترین حالت چینش، چیزی شبیه شکل ۴ خواهد بود. در این حالت، از آنجا که هیچ پیکسلی در مجاورت پیکسل مشابه خود وجود ندارد، حداکثر پراکندگی برابر مجموع «محیط»، یا به عبارتی چهار برابر همه پیکسل‌های اختصاص داده شده به یک کاربری است. اما این چینش فقط زمانی

امکان‌پذیر است که تعداد سلول‌های هدف هر کاربری کمتر یا حداکثر برابر نصف تعداد پیکسل‌های تشکیل‌دهنده کل ماتریس منطقه مورد مطالعه باشد.



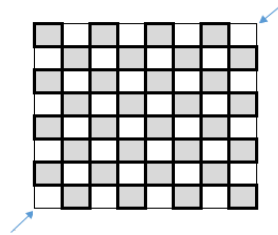
شکل ۴. چگونگی چینش پیکسل‌های اختصاص‌یافته به یک کاربری در شرایط کاملاً پراکنده

با اضافه شدن بر تعداد سلول‌های هدف، از آنجا که به هر حال، برخی پیکسل‌های مجاور هم، کاربری مشابه خواهند داشت، دیگر حداکثر پراکندگی مطابق با شرایط گفته شده محاسبه‌شدنی نیست. در این میان، گوشه‌ها و مرزهای ماتریس معرف منطقه، کمتر نسبت به تغییر وجوه آزاد هر پیکسل در شرایط مجاور شدن با پیکسل مشابه حساسند. به‌طور کلی، هر چهار گوشه ماتریس را در حالتی که تعداد کل سلول‌های متشکله آن زوج باشند، می‌توان گوشه‌های خنثی نامید (سمت راست شکل ۵). با اختصاص این گوشه‌ها به یک کاربری، به‌ازای هر دو وجه محیطی که از بین می‌رود، دو وجه محیطی دیگر حاصل می‌شود. در مرزها، مطابق با سمت چپ شکل ۵، اگر فضاهای خالی بین به هر دو فضای اختصاص‌یافته متوالی، به کاربری مشابهی اختصاص داده شود، به‌ازای هر سه وجه محیطی از بین رفته، یک وجه محیطی ایجاد می‌شود. اما اگر تعداد سلول‌های هدف در نظر گرفته شده در هر کاربری بیش از مقدار یاد شده و برابر با تعداد بیان شده در معادله ۹ باشد، فضاهای داخل ماتریس نیز بالاجبار به کاربری اختصاص می‌یابند. در این صورت، به‌ازای اختصاص یافتن هر پیکسل از فضای داخلی ماتریس به یک کاربری، چهار وجه محیطی از بین می‌رود.



شکل ۵. موقعیت متفاوت گوشه‌های خنثی (سمت راست) و مرزها (سمت چپ) در ماتریس منطقه نسبت به اختصاص داده‌شدن به یک کاربری

۲.۲. فرد بودن تعداد سلول‌های متشکله ماتریس منطقه مورد مطالعه: در این حالت نیز همین سه حالت امکان‌پذیر است، با این تفاوت که به‌جای چهار گوشه، فقط دو گوشه خنثی در ماتریس معرف منطقه وجود دارد (شکل ۶). از این رو، در ماتریس‌هایی که تعداد پیکسل‌هایشان فرد است، در معادله‌های ۵ و ۷ عدد ۲ به‌جای ۴ جایگزین می‌شود.



شکل ۶. در ماتریس‌هایی با تعداد سلول فرد فقط دو گوشه خنثی وجود دارد.

۳. محاسبه حداکثر تراکم ممکن: حداکثر تراکم ممکن زمانی است که همه پیکسل‌های اختصاص یافته به یک کاربری چینی نزدیک به مربع واحد را تشکیل دهند. ریاضی‌دانان به‌راحتی، از طریق برابری مربع با دایره هم‌سطح آن، اثبات کرده‌اند که محیط یک مربع، حداقل چهار برابر ریشه دوم سطح آن است (Hoshino, 2015, p.220; Janssen, 2015, p.52). بسیاری این برابری را برای دستیابی به تراکم به‌کار گرفته‌اند (McGarigal & Frohn, 1998, p.30; Farina, 1998, p.201; Marks, 1993; Bogaert & Impens, 1998, p.58). از آنجا که در این پژوهش، مساحت هر پیکسل یک واحد است، می‌توان گفت مجموع پیکسل‌های یک شکل گویای مساحت کل آن است. به این

ترتیب، ارتباط بین محیط مربع متراکم (حداکثر تراکم) و مساحت آن براساس معادله ۱۲ بیان می‌شود.

$$C_{max_k} = \varepsilon \sqrt{Px_k} \quad (12)$$

متغیر  $(C_{max_k})$ ، حداکثر تراکم و متغیر  $(Px_k)$  سلول‌های هدف هر کاربری را نشان می‌دهد.  
 ۴. محاسبه معیار استاندارد شده تراکم: پس از آنکه مقادیر تراکم جاری، حداقل و حداکثر تراکم ممکن محاسبه شد، این مقادیر در معادله ۲ قرار می‌گیرد. به این ترتیب، تراکم جاری استاندارد هر کاربری محاسبه می‌شود. این مراحل می‌تواند در داخل الگوریتم به‌گزینی، برنامه‌نویسی شده و با هر بار اجرای حلقه اصلی آن، ضمن فراخوانی تابع هدف اصلی الگوریتم برای هر کاربری محاسبه و با چینش مرحله قبل محاسبه شود.

#### محاسبه معیار پیوستگی

معیار پیوستگی نیز از روش استانداردسازی مانند محاسبه معیار تراکم پیروی می‌کند. ویلیامز (۲۰۰۲)، محاسبه تعداد لکه‌ها را در یک سیمای سرزمین به‌عنوان معیاری از شدت پیوستگی معرفی کرد. بر این اساس، در این پژوهش از محاسبه تعداد لکه‌ها و استاندارد کردن آن مطابق با معادله ۱۳ به‌عنوان معیار پیوستگی استفاده شده است.

$$C_{G_k} = \sum_{k=1}^K \left( \frac{C_{GTmax_k} - C_{GT_k}}{C_{GTmax_k} - C_{GTmin_k}} \right) \quad (13)$$

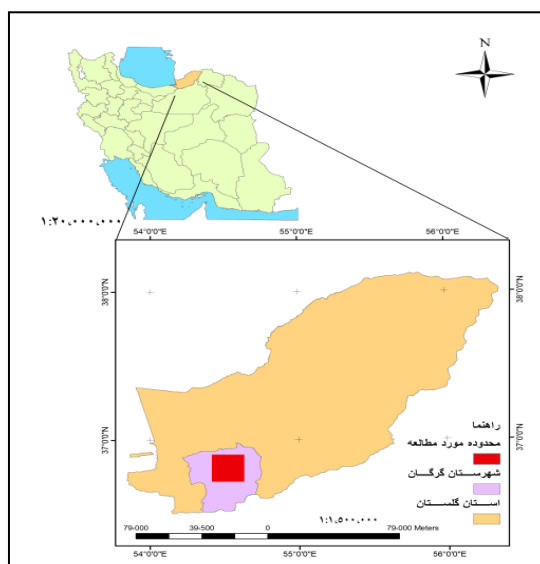
در این معادله  $(C_{GT_k})$ ، متغیری است که مجموع تعداد لکه‌های هر کاربری را نشان می‌دهد. برای استاندارد کردن این معیار، حداقل تعداد لکه‌ها  $(C_{GTmin_k})$  را ۱ و حداکثر تعداد آن‌ها  $(C_{GTmax_k})$  برابر تعداد کل سلول‌های هدف هر کاربری در نظر گرفته شد.

۴. محاسبه و اجرای عملی معیار تراکم و پیوستگی در محدوده مورد مطالعه: به منظور آزمون معیار تراکم و پیوستگی در یک نمونه کاربردی، منطقه‌ای با مساحت ۳۹۷ کیلومتر مربع از شهرستان گرگان واقع در استان گلستان برای به‌گزینی کاربری اراضی با در نظر گرفتن معیار تراکم و

پیوستگی مورد توجه قرار گرفت. این منطقه بین "۴۷' ۲۴° ۵۴" و "۵۹' ۳۷° ۵۴" طول شرقی و "۷' ۴۳° ۳۶" و "۴۵' ۵۶° ۳۶" عرض شمالی واقع شده است (شکل ۷). کل منطقه پژوهش ماتریسی در ابعاد ۱۳۲ اردیف و ۱۲۷ ستون در اندازه تفکیک مکانی ۱۵۰ متر و شامل چهار کاربری کلان کشاورزی، جنگل، مرتع و توسعه است.

از آنجا که کاربری‌های فعلی منطقه بدون انجام‌دادن طرح آمایش جانمایی شده‌اند، چینش بهینه آن‌ها با در نظر گرفتن سه معیار حداقل کردن هزینه (یا در معنای معکوس، حداکثر کردن مطلوبیت)، حداکثر کردن تراکم و حداکثر کردن پیوستگی مورد توجه قرار گرفت. این سه معیار در قالب یک تابع هدف از نوع کمینه، در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. مساحت محدوده پژوهش بدون احتساب رودخانه و مناطق توسعه فعلی حدود ۳۵۰/۵۰ کیلومتر مربع است. قبل از به‌گزینی، مطابق با جدول ۱، برای چهار کاربری کلان مورد توجه، مساحت پیش‌فرضی در نظر گرفته شد.<sup>۱</sup> به‌گزینی بر پایه حداقل کردن هزینه تبدیل زمین (عکس مطلوبیت) برای هر کاربری و حداکثر کردن تراکم و پیوستگی کاربری‌های مشابه در نظر گرفته شده است. در این تحقیق معکوس نقشه‌های مطلوبیت به‌عنوان معیار هزینه به‌کار گرفته شده است. نقشه مطلوبیت سرزمین برای هر کاربری با بهره‌گیری از معیارهای مختلف 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 صفات دیگر حاصل شده است (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۵). این مقادیر در بازه [0 255] استاندارد شده است، به‌طوری که مقدار صفر گویای کمترین مطلوبیت و مقدار ۲۵۵ گویای بیشترین مطلوبیت یا کمترین هزینه است.

۱. شایان ذکر است هر چند در تعیین مساحت‌ها سعی شده است تا حدی نسبت کاربری‌های فعلی در منطقه رعایت شود، مساحت‌های یادشده تنها به‌عنوان نمونه و صرفاً برای آزمون روش معرفی شده است در محاسبه تراکم و پیوستگی در حین به‌گزینی در نظر گرفته شده‌اند. بدیهی است با بررسی جوانب بیشتر می‌توان مساحت‌های پیش‌فرض دیگری در نظر گرفت و الگوریتم را مجدد اجرا کرد.



شکل ۷. محدوده مورد مطالعه

جدول ۱. مساحت پیش فرض در نظر گرفته شده برای هر کاربری

کاربری	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (سلول)
کشاورزی	۱۳۶/۲۹	۵۷۶۱
جنگل	۱۱۵/۳۳	۴۸۷۵
توسعه	۶۷/۱۲	۱۳۸۵
مرتع	۳۲/۷۷	۲۸۳۷

الگوریتم هیبرید کلونی مورچگان و برنامه ریزی خطی به عنوان ترکیبی از یک الگوریتم دقیق و فراابتکاری در آزمون روش بیان شده در محاسبه تراکم و پیوستگی به کار گرفته شد. از نرم افزار GAMS نسخه ۲۴,۱ برای تحلیل های خطی و از محیط برنامه نویسی نرم افزار MATLAB نسخه ۷,۱۲,۰ در برنامه نویسی الگوریتم کلونی مورچگان کمک گرفته شده است. اگرچه توضیح الگوریتم های یاد شده خارج از بحث این تحقیق است، به دلیل تخصصی تر بودن الگوریتم فراابتکاری

مورد استفاده نسبت به برنامه‌ریزی خطی، مراحل اجرای کلی آن به‌طور ساده و بسیار کلی می‌تواند به صورت شکل ۸ بیان شود.



شکل ۸. مراحل کلی اجرای الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچگان

### یافته‌های تحقیق

همان‌طور که بیان شد در این تحقیق دو الگوریتم برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم کلونی مورچگان به‌طور توأم برای به‌گزینی به‌کار گرفته شده است. مساحت‌های هدف نیز مطابق با جدول ۱ برای چهار کاربری مورد بررسی در به‌گزینی، یعنی کاربری‌های کشاورزی، جنگل، توسعه و مرتع در نظر گرفته شده است. از آنجا که این الگوریتم براساس اصل تکرار به سمت پاسخ بهینه حرکت می‌کند، در شکل ۹ (الف، ب و ج) تغییر چینش کاربری‌ها به سمت شرایط بهینه‌تر ضمن اجرای مدل نشان داده شده است. جدول ۲ نیز مقدار تابع تراکم و پیوستگی محاسبه‌شده در این تکرارها را بیان می‌کند. همان‌طور که مشخص است، میزان تراکم و پیوستگی در تکرارهای ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰

برای هر کاربری روندی روبه‌افزایش را نشان می‌دهد. مراحل الف تا ج شکل ۹ نشان می‌دهد مساحت لکه‌ها به تدریج بزرگتر شده و سلول‌های مشابه مربوط به یک کاربری مشخص در تکرارهای مختلف، بیشتر به هم نزدیک شده یا به عبارتی، تراکم‌تر شده‌اند.

جدول ۲. مقدار تابع تراکم و پیوستگی محاسبه‌شده در تکرارهای ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ از اجرای الگوریتم مقدار تابع تراکم و پیوستگی در تکرارهای مختلف

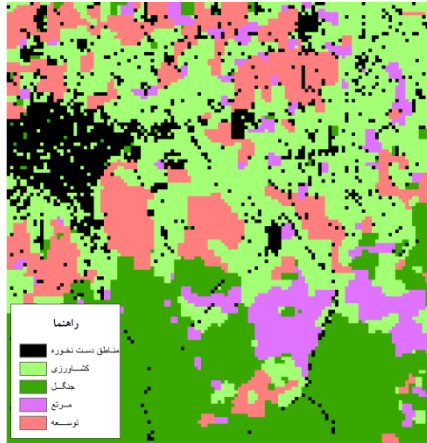
کاربری	تراکم تکرار ۲۰	پیوستگی تکرار ۲۰	تراکم تکرار ۵۰	پیوستگی تکرار ۵۰	تراکم تکرار ۱۰۰	پیوستگی تکرار ۱۰۰
کشاورزی	۰,۷۲۴۰	۰,۹۸۷۳	۰,۷۸۱۰	۰,۹۸۶۳	۰,۸۶۲۰	۰,۹۸۹۴
جنگل	۰,۷۹۴۳	۰,۹۹۳۴	۰,۸۲۱۵	۰,۹۳۵۱	۰,۹۴۵۶	۰,۹۹۲۰
توسعه	۰,۷۵۵۱	۰,۹۸۷۳	۰,۷۶۵۱	۰,۹۹۰۱	۰,۸۵۹۸	۰,۹۹۴۰
مرتع	۰,۷۲۲۴	۰,۹۵۹۵	۰,۷۴۰۱	۰,۹۶۲۴	۰,۹۲۱۹	۰,۹۹۲۱

در نمودار شکل ۱۰ میزان تغییر مطلوبیت سرزمین در مجموع همه کاربری‌ها در تکرارهای مختلف نشان داده شده است. این تغییرات در زمینه هر کاربری نیز در جدول ۳ به تفصیل بیان شده است. همان‌طور که مشخص است، در نمودار شکل ۱۰ و در جدول ۳ میزان مطلوبیت سرزمین برای کاربری‌های مختلف و همچنین، در مجموع همه کاربری‌ها با افزایش تکرارها بیشتر شده است. این امر نشان می‌دهد الگوریتم توانسته است در کنار افزایش تراکم و پیوستگی مطابق با جدول ۲ میزان مطلوبیت سرزمین برای هر کاربری را نیز افزایش دهد، یا به تعبیری دیگر میزان هزینه اختصاص زمین به هر کاربری را به تدریج در تکرارهای مختلف کاهش دهد. شایان ذکر است مقادیر بیان‌شده در جدول ۳ براساس مقادیر استاندارد شده مطلوبیت سرزمین در بازه [0 255] است.

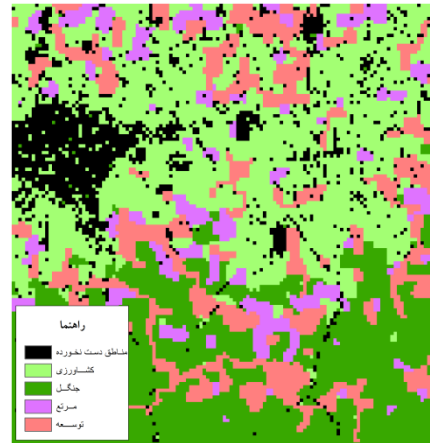
جدول ۳. مقدار مطلوبیت سرزمین برای کاربری‌های مختلف در تکرارهای ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ از اجرای الگوریتم

تکرار	کشاورزی	جنگل	توسعه	مرتع	مجموع
۲۰	۴۲۸۲۳۶	۲۸۳۸۷۸	۱۹۵۲۳	۱۵۳۳۱۹	۸۸۴۹۵۶
۵۰	۴۰۱۳۰۹	۲۹۰۹۲۹	۲۷۲۰۳	۱۷۸۴۷۱	۸۹۷۹۱۲
۱۰۰	۴۳۸۸۶۳	۳۰۳۷۱۳	۲۹۲۲۵	۱۸۸۵۰۰	۹۶۰۳۰۱

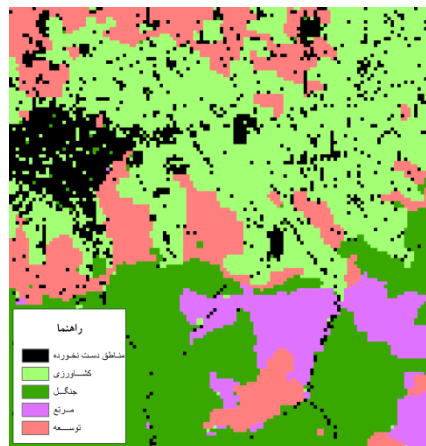




شکل ۹-ب



شکل ۹-الف



شکل ۹-ج

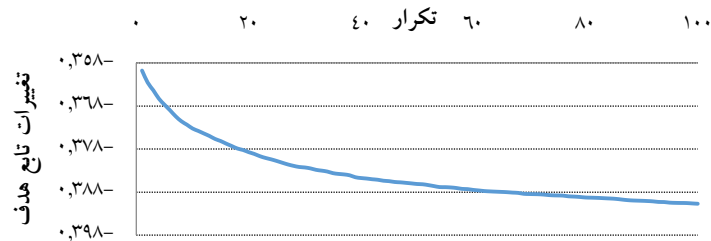
شکل ۹. چگونگی چینش کاربری‌ها در تکرارهای مختلف اجرای مدل، الف) چینش کاربری‌ها در تکرار ۲۰، ب) چینش کاربری‌ها در تکرار ۵۰ و ج) چینش کاربری‌ها در تکرار ۱۰۰ را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱ نمودار تغییرات تابع هدف اصلی در تکرارهای مختلف را نشان می‌دهد. شایان ذکر است مقادیر تابع هدف اصلی با در نظر گرفتن سه هدف کاهش هزینه تخصیص زمین، افزایش تراکم و افزایش پیوستگی، به ترتیب، با وزن‌های ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۵ محاسبه شده است.



شکل ۱۰. نمودار تغییرات میزان مطلوبیت سرزمین در مجموع همه کاربری‌ها در تکرارهای مختلف

در واقع، کمینه کردن یک هدف در مقابل بیشینه کردن دو هدف دیگر موجب شده است در ترکیب با هم و در تابع هدف اصلی که به صورت یک تابع کمینه‌سازی بیان شده است، هدف نخست در تقابل با دو هدف دیگر قرار گیرد. به این ترتیب، مقادیر منفی تابع هدف اصلی گویای آن است که مقدار تراکم و پیوستگی در هر تکرار روبه‌افزایش است.



شکل ۱۱. نمودار تغییرات تابع هدف اصلی در ۱۰۰ تکرار اجرای مدل

## نتیجه و پیشنهادها

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، معیارهای یادشده توانسته‌اند به‌طور موفق عمل کنند و میزان تراکم یا پیوستگی لکه‌های کاربری‌های مشابه را در منطقه مورد مطالعه، ارتقا بخشند. تحقیق حاضر

در پی آن بوده است که به توضیح استفاده از معیار استاندارد شده تراکم و به‌کارگیری آن در نمونه‌ای از به‌گزینی کاربری اراضی پردازد. سعی اصلی این مطالعه در نمونه به‌گزینی کاربری مورد بررسی آن بوده است که بیان کند، معیار تراکم و پیوستگی نه‌تنها می‌تواند تراکم یا پیوستگی خالص گروه‌ها و مجموعه‌های مرتبط و تأثیرپذیر از هم را بیان کند، بلکه می‌تواند برای ارتقای تراکم آن‌ها و اصلاح چیدمان عناصر متشکله هر مجموعه در فضای کلی که مجموعه‌ها مشمول آن می‌شوند، نیز به‌کار گرفته شود. این چنین شیوه‌نگاهی به مجموعه‌ها و ساختارهای موجود در طبیعت که آن‌ها را نه به صورت مجرد و مجزا، بلکه در ارتباط با یکدیگر بررسی می‌کند. در حقیقت، همان موضوع بحث در مسائل منطقه‌بندی دامنه گسترده‌ای را در مطالعات منابع طبیعی به خود اختصاص می‌دهد. به نظر می‌رسد سادگی و سهولت به‌کارگیری این دو معیار، نقطه قوت اصلی آن‌ها باشد که به‌کارگیری آن‌ها را با اقبال و امکان بیشتری در الگوریتم‌های به‌گزینی مرتبط توأم می‌کند. اگرچه معیارهای مختلفی می‌تواند در منطقه‌بندی به‌کار گرفته شود، در مجموع، می‌توان گفت تراکم و پیوستگی به‌ویژه از نظر مدیریتی از مهم‌ترین آن‌ها محسوب می‌شود. به‌گزینی کاربری اراضی پیش از این به صورت کاربرپسندتر مانند الگوریتم MOLA در نرم‌افزار ایدرسی نیز به‌کار گرفته شده است. اما در آن مسئله بررسی تراکم یا پیوستگی ضمن به‌گزینی کمتر بررسی شده است. به نظر می‌رسد با توجه به اهمیت در نظر گرفتن این معیارها در به‌گزینی کاربری اراضی، منطقه‌بندی و برنامه‌ریزی سرزمین، در تحقیقات آتی بتوان تخصیص بهینه سرزمین را با در نظر گرفتن معیارهای یادشده به شیوه‌ای کاربرپسندتر و به شکل نرم‌افزاری تخصصی ارائه کرد. ضمن آنکه می‌توان چگونگی به‌کارگیری سنجه‌های دیگری از سیمای سرزمین را نیز در چنین بهینه کاربری‌ها مورد توجه قرار داد یا روش‌های مناسب دیگری را برای دستیابی به تراکم یا پیوستگی در به‌گزینی اراضی به‌کار گرفت و با نتایج فعلی مقایسه کرد. اگرچه موضوع بحث تحقیق یادشده، نوع الگوریتم به‌کار گرفته شده در اجرای مدل نبوده است، می‌توان در تحقیقات آتی استفاده از معیارهای یادشده با مدل بیان شده در این تحقیق را در الگوریتم‌های دیگری بررسی کرد و به این ترتیب، مقایسه‌ای بین تأثیر نوع الگوریتم در استفاده از این معیارها انجام داد.

## منابع و مأخذ

۱. سلمان ماهینی، عبدالرسول و همکاران (۱۳۹۵). مطالعات آمایش استان گلستان. استانداری استان گلستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (در حال اتمام).
2. Bardossy, A. & Schmidt, F. (2002). gis approach to scale issues of perimeter-based shape indices for drainage basins. *Hydrological Sciences Journal*, 47(6), 931-942.
3. Bogaert, J. & Impens, I. (1998). An improvement on area-perimeter ratios for interior-edge evaluation of habitats. In: F. Muge, R.C. Pinto & M. Piedade (Eds.), *Proceedings of the 10th Portuguese Conference on Pattern Recognition*, (pp.55-61), Lisbon: Portugal.
4. Bribiesca, E. (1997). Measuring 2-D shape compactness using the contact perimeter. *Computers and Mathematics with Applications*, 33(11), 1-9.
5. C. Y. J. (2004). Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities. *Cities Journal*, 21(4). 311-320.
6. Cova, T.J. & Church, R.L. (2000). Exploratory spatial optimization and site search: neighborhood operator approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 24(5), 401-419
7. Crewe, K. & Forsyth A. (2011). Compactness and connection in environmental design: insights from ecoburbs and ecocities for design with nature. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 38, 267-288.
8. Diamond, J.T. & Wright, J.R. (1991). An implicit enumeration technique for the land acquisition problem. *Civil Engineering Systems*, 8, 101-114.
9. Farina, A. (1998). *Principles and methods in landscape ecology*. Cambridge: Chapman & Hall, University Press.
10. Frohn R.C. (1998). *Remote sensing for landscape ecology; new metric indicators for monitoring, modelling, and assessment of ecosystems*. Boca Raton: Lewis Publishers, CRC Press LLC.
11. Gillman, R. (2002). Geometry and gerrymandering. *Math Horizons*, 10(1), 10-13.
12. Harris, C.C. (1964). Scientific methods of distribution. *Behavioral Science*, 9(3), 219-225.
13. Hofeller, T. & Grofman, B. (1990). Comparing the compactness of california congressional districts under three different plans: 1980, 1982, and 1984, In Grofeman, B. (Ed.). *Toward fair and Effective Representation*. New York: Agathon.
14. Hoshino, R. (2015). *The math olympian*. Victoria, British Columbia: Friesen Press.
15. Janssen, B. (2015). *The hypnotic power of crop circles*. Kempton, Illinois: Adventures Unlimited Press.
16. Kaiser, H.F. (1966). An objective method for establishing legislative districts. *Midwest Journal of Political Science*, 10, 200-213.

17. Li, W., Goodchild, M.F. & Church, R. (2013). An efficient measure of compactness for two-dimensional shapes and its application in regionalization problems. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(6), 1227-1250.
18. Lindenmayer, D.B. & Fischer, J. (2006). How landscape change affects organisms: a conceptual framework. In D. B. Lindenmayer & J. Fischer (Eds.), *Habitat Fragmentation and Landscape Change*, (pp.26-35). Washington, DC: Island Press.
19. McGarigal, K. & Marks, B.J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. General Technical Report PNW-351. U. S. Department of Agriculture Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland.
20. McIntyre, S. & Hobbs, J. (1999). A Framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. *Conservation Biology*, 13(6), 1282-1292.
21. Miller, V.C. (1953). *A quantitative geomorphic study of the drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee*. Report, Department of Geology Technical University, New York: Columbia.
22. Oldman Watershed Council (2013). *Landscape patterns environmental quality analysis*. Available at: [http:// www. plainsandprairiepotholeslcc.org/research-project/landscape-patternsenvironmental-quality-analysis/](http://www.plainsandprairiepotholeslcc.org/research-project/landscape-patternsenvironmental-quality-analysis/)
23. Osserman, R. (1978). Isoperimetric inequality. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 84(6), 1182-1238
24. Patton, D.R. (1975). A diversity index for quantifying habitat edge. *Wildlife Society Bulletin*, 3(4), 171-173.
25. Wentz, E.A. (1997). Shape analysis in GIS. *Annual Convention & Exposition Technical Papers, AutoCarto*, 13(5), 204-213.
26. Williams, J.C. (2002). A zero-one programming model for contiguous land acquisition. *Geographical Analysis*, 34(4), 330-349.