کارتوگرام: رهیافتی کارا برای بصری سازی در بستر GIS

رحیم علی‌عباسپور*[۱]، پرهام پهلوانی[۱]، سیمین سادات میروهابی[۲]

[۱] استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
abaspour@ut.ac.ir
pahlavani@ut.ac.ir

[۲]دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
mirvahabi.s@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۴، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۵)

چکیده

نقشه‌ها و تصاویر نقش مهمی را در توصیفات اجتماعی و ارتباطات جغرافیایی بازی می‌کنند و به عنوان یک وسیله برای نمایش حجم وسیعی از اطلاعات به صورت موازی و در قالبی قابل درک برای بشر، در نظر گرفته می‌شوند. در سال های اخیر، حجم وسیع و متنوعی از داده‌های آماری اخذ شده در قالب ملی یا جهانی، با هزینه کم و گاهی بدون هیچ هزینه‌ای در فرمت دیجیتال در دسترس شهروندان عادی و تحلیلگران مکانی قرار گرفته است. بسیاری از این داده‌های آماری می‌توانند در یک چارچوب جغرافیایی ارائه شده توسط GIS مورد استفاده قرار بگیرند. GIS به این قبیل داده‌های آماری بعد نمایشی می‌بخشد. یکی از روش‌های موجود برای نمایش اطلاعات آماری در بستر مکانی استفاده از کارتوگرام می‌باشد. کارتوگرام یک نوع نقشه خاص برای نشان دادن اطلاعات آماری مربوط به مناطق جغرافیایی می‌باشد. در کارتوگرام‌ها بعضی از متغیرهای موضوعی مانند تولید ناخالص داخلی یا زمان سفر جایگزین مساحت یا فاصله می‌شوند. در نتیجه هندسه یا فضای نقشه برای نمایش این اطلاعات جایگزین دچار اعوجاج هندسی می‌گردد. اهمیت استفاده از کارتوگرام‌ها در تحلیل‌های مکانی و یا نمایش نتایج حاصل از تحلیل‌ها به صورت بهینه و کارآمد کاملا روشن است. در این پژوهش، سعی بر معرفی کارتوگرام و انواع آن است. همچنین به معرفی روش‌های ساخت این مدل نقشه‌ها، تعدادی از الگوریتم‌های پرکاربرد در این حوزه، بیان ویژگی‌های منحصر به فرد هریک و مقایسه آن‌ها با یکدیگر پرداخته می‌شود. هدف از تحقیق پیش رو، ایجاد یک دید جامع از مبحث کارتوگرام برای استفاده بیشتر و بهتر از این مقوله در تحلیل‌های مکانی می‌باشد. نتایج این تحقیق با بررسی وضعیت موجود، می‌تواند راهگشای بسیاری از پژوهش‌های ثانویه در امر توسعه کارتوگرام باشد.

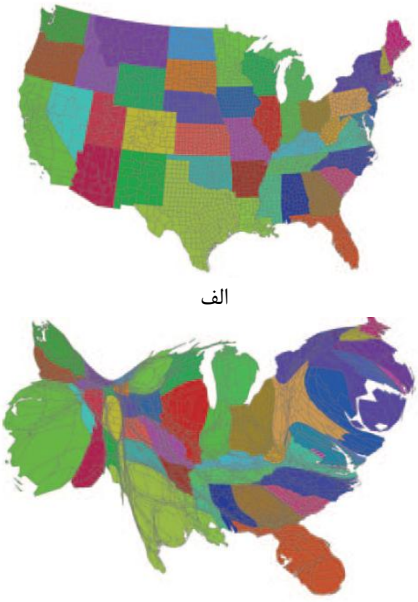
واژگان کلیدی: کارتوگرام، نقشه، کارتوگرافی، بصری‌سازی، GIS

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در مباحث اطلاعات مکانی در عصر کنونی، اهمیت وجود نقشه‌ها بیش از پیش آشکار گردیده است. نقشه‌ها و تصاویر نقش مهمی در توصیفات اجتماعی و ارتباطات جغرافیایی ایفا می‌کنند و به‌عنوان وسیله‌ای برای نمایش حجم وسیعی از اطلاعات به صورت همزمان و در قالبی قابل درک برای عموم در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین وجود نقشه دقیق، صحیح، متناسب با نیاز کاربر و همسو با تحلیل‌های مکانی موجود، از اهمیت بالایی برخوردار است. با ظهور کامپیوترهای شخصی و در پی آن افزایش قدرت گرافیکی کامپیوترها برای نمایش داده‌های زمینی با حجم بالا، نه تنها دسترسی به نقشه‌های موجود آسان‌تر شد، بلکه فناوری تولید نقشه نیز به سرعت تحول یافت. در سال های اخیر، حجم وسیع و متنوعی از داده‌های آماری اخذ شده در قالب ملی یا جهانی، با هزینه کم و گاهی بدون هیچ هزینه‌ای در فرمت دیجیتال در دسترس شهروندان عادی و تحلیلگران مکانی قرار گرفته است. بسیاری از این داده‌های آماری می‌توانند در یک چارچوب جغرافیایی ارائه شده توسط GIS مورد استفاده قرار بگیرند. GIS به این قبیل داده‌های آماری بعد نمایشی می‌بخشد [۱و۲].

یکی از روش‌های موجود برای نمایش اطلاعات آماری در بستر مکانی استفاده از کارتوگرام[۱] می‌باشد که در جغرافیای آماری بدان پرداخته شده است. کارتوگرام روش شناخته شده برای نشان دادن اطلاعات آماری مربوط به جغرافیا از جمله جمعیت، جمعیت‌شناسی و اطلاعات همه-گیرشناسی[۲] است. در حقیقت، کارتوگرام نقشه‌ای حاصل از تغییر نقشه‌های جغرافیایی موجود برای نمایش جغرافیای توزیع مجموعه داده‌های آماری می‌باشد [۱و۳]. در کارتوگرام‌ها بعضی از متغیرهای موضوعی مانند تولید ناخالص داخلی یا زمان سفر جایگزین مساحت یا فاصله می‌شوند؛ در نتیجه هندسه یا فضای نقشه برای نمایش این اطلاعات جایگزین دچار اعوجاج هندسی می‌گردد. اختلاف بین نقشه های مرسوم و کارتوگرام ها در نوع متغیری می‌باشد که اندازه‌ی مناطق را تعیین می‌کند. در نقشه‌های مرسوم این متغیرها مناطق جغرافیایی می‌باشند، درحالیکه کارتوگرام‌ها ممکن است از متغیرهای زمین مرجع شده‌ی دیگر نیز استفاده شود [۲]. شکل ۱ نمایشی از نقشه نواحی مختلف ایالت متحده و کارتوگرام جمعیت حاصل از داده‌های آماری جمعیت نواحی مختلف را ارائه می‌دهد.



الف ب

شکل ۱- نقشه ایالات متحده (الف) و کارتوگرام جمعیت حاصل از این نقشه (ب) [۲]

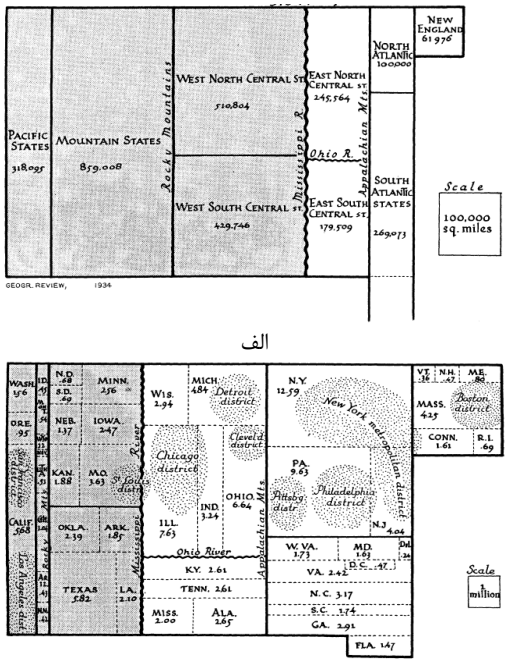
از کارتوگرام‌ها در تحلیل‌های مکانی، نمایش نتایج حاصل از تحلیل‌ها به صورت بهینه و کارآمد و انتقال سریع اطلاعات استفاده بسیاری می‌شود. در این پژوهش سعی بر معرفی کارتوگرام و انواع آن است. همچنین به معرفی روش‌های ساخت این مدل نقشه‌ها و تعدادی از الگوریتم‌های پرکاربرد در این حوزه، بیان ویژگی‌های منحصر به فرد هریک و مقایسه آن‌ها با یکدیگر پرداخته می‌شود. هدف از تحقیق پیش رو، ایجاد دید جامع و کامل از مبحث کارتوگرام برای استفاده بیشتر و بهتر از این ابزار در تحلیل‌های مکانی می‌باشد. نتایج این تحقیق با بررسی وضعیت موجود، می‌تواند راهگشای بسیاری از پژوهش‌های ثانویه در کاربرد کارتوگرام باشد.

در بخش بعدی این مقاله ضمن معرفی کارتوگرام و ارائه پیشینه‌ای از آن، به انواع دسته بندی‌های موجود پرداخته شده است. در ادامه انواع روش‌های ایجاد کارتوگرام معرفی شده است. در بخش ۴ مقایسه بین انواع کارتوگرام و انواع روش‌های ساخت کارتوگرام صورت گرفته است. در بخش آخر نیز نیجه‌گیری موجود می‌باشد.

۱ Cartogram
۲ Epidemiology

۲- کارتوگرام

کارتوگرام توسط Raisz [۴] معرفی و عمومیت یافت. وی کارتوگرام‌ها را «نقشه‌های نموداری[۱]» نامید. امروزه به آن‌ها کارتوگرام، نقشه‌های ارزش_سطح[۲] و یا تصاویر انفورماتیک گفته می‌شود. از نمای نزدیک تر، تکنیک ترسیم نقشه value-by-area به کدگذاری داده‌های تصویر شده بدون هیچ خلاصه سازی و کاهش جزئیات می‌پردازد. در واقع هیچ اطلاعاتی در خلال ایجاد کارتوگرام و نمایش درآن از دست نخواهد رفت. کارتوگرام‌ها راهی برای نمایش منطقی نحوه پراکندگی دو پارامتر مرتبط با هم با استفاده از ویژگی‌های گرافیکی نقشه از قبیل اندازه، شکل و الگو است. اولین کارتوگرام آماری نیز در سال ۱۹۳۴ توسط Raisz تهیه گردید. شکل۲ تصویری از کارتوگرام مستطیلی نواحی ایالات متحده و کارتوگرام مستطیلی جمعیت ایجاد شده از آن را نمایش می‌دهد [۴و۵].



الف

ب

شکل۲- کارتوگرام مستطیلی مربوط به محدوده نواحی ایالت متحده (الف)، کارتوگرام مستطیلی جمعیت مربوط به ایالات متحده (ب) [۴]

کارتوگرام‌ها ابزارهای مناسبی برای نمایش داده‌های آماری و داده‌های غیر جغرافیایی در محدوده‌های جغرافیایی می‌باشند و هدف اصلی از ایجاد کارتوگرام نمایش اطلاعات آماری در محدوده مکانی می‌باشد. برای نمایش این اطلاعات نیاز است هندسه نقشه مورد نظر با توجه به پارامترهای آماری دستخوش تغییر گردد. نقشه حاصل از اعوجاج، متفاوت از نقشه اولیه می‌باشد و میزان این تفاوت تا حد زیادی به میزان تمایل به نمایش اطلاعات توسط کارتوگرام دارد. کارتوگرام توانایی نمایش بیش از یک متغیر جغرافیایی را به صورت هم زمان دارد. برای نمایش متغیر دوم جغرافیایی معمولاً از سایه یا رنگ استفاده می‌شود [۶].

براساس دسته بندی Tobler دو نوع کارتوگرام عمومی وجود دارد: اولین شکل کارتوگرام‌ها بر اساس انحراف هندسه نقشه مبتنی داده‌های غیر جغرافیایی نظیر هزینه یا سفر تغییر می‌کند. دومین شکل از کارتوگرام‌ها کارتوگرام‌هایی می‌باشند که هندسه نقشه در آن بر اساس متغیرهای زمین مرجع تغییر می‌کند [۲]. دسته‌بندی دیگری که برای کارتوگرام‌ها ارائه شده آن‌ها را در دو نوع عمده طبقه‌بندی می‌کند: کارتوگرام خطی (فاصله) و کارتوگرام مساحت. کارتوگرام مساحت از اعوجاج دوبعدی برای نمایش اطلاعات تماتیک استفاده می‌کند، حال آنکه کارتوگرام فاصله به بیان مقادیر کمی در یک‌بعد با ایجاد اعوجاج در فواصل موجود در نقشه می‌پردازد. همچنین بر مبنای پیوستگی مناطق در کارتوگرام، کارتوگرام‌ها به دو دسته پیوسته[۳] و ناپیوسته[۴] تقسیم‌بندی می‌شوند [۲و۷]. انواع خاصی از کارتوگرام از قبیل Dorling، Demers، Rectangular و... نیز در تحقیقات مشاهده می‌شود. در ادامه انواع کارتوگرام به همراه ویژگی‌های هر کدام معرفی می‌گردد.

۲-۱- کارتوگرام فاصله

کارتوگرام فاصله یک نمودار است که به نمایش شاخص‌های نزدیکی و مجاورت بین نقاط در یک شبکه از قبیل فاصله زمانی بین دو شهر می‌پردازد. در واقع کارتوگرام فاصله یک نقشه اعوجاج یافته است که در آن فاصله نقاط برای بیان رابطه بین آنها دچار اعوجاج و تغییر شده است. فاصله اقلیدسی نقاط در این نوع کارتوگرام نماینده شاخص نزدیکی نقاط می‌باشد و معمولا برای

۱ Diagrammatic Maps
۲ Value-by-area maps

۳ Continuous
٤ Non- continuous

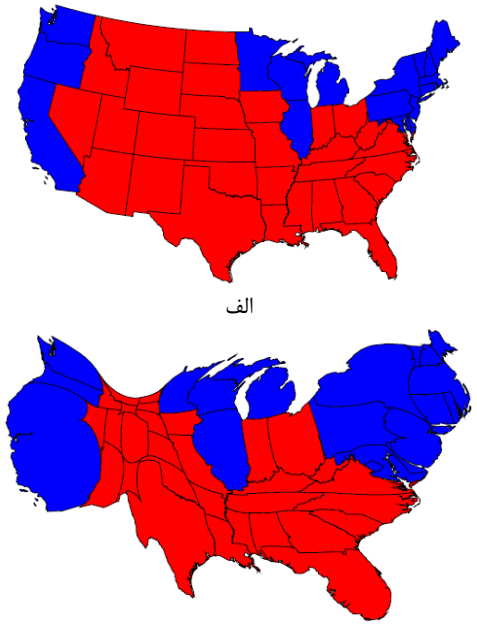
نمایش زمان سفر یا هزینه سفر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع کارتوگرام ابزار سودمندی برای نمایش تفاوت سطح خدمات حمل و نقل در بین نواحی یا نقاط در یک شبکه حمل و نقل و بهبود زمان سفر است [۱]. این کارتوگرام اغلب در مترو یا شبکه حمل و نقل اتوبوسی برای نمایش مسیر سفر به کار گرفته می‌شود. شکل ۳ مثالی از یک کارتوگرام فاصله را نمایش می‌دهد. این کارتوگرام مربوط به شبکه مترو استان تهران می‌باشد. اگرچه زمان و مسافت بین هر دو ایستگاه دچار اعوجاج شده و به صورت یکنواخت در نظر گرفته شده است، اما این دسته از کارتوگرام‌ها همچنان برای نمایش مسیر ناوبری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع اطلاعات آماری تعیین کننده نحوه نمایش اطلاعات جغرافیایی در این قسم از کارتوگرام‌ها می‌باشد.

شکل۳- بخشی از کارتوگرام فاصله مربوط به شبکه مترو شهر تهران

۲-۲- کارتوگرام مساحت

کارتوگرام مساحت که گاهی به آن نقشه value-by-area یا نقشه isodemographic هم اطلاق می‌شود، یک اغراق عمدی در مساحت نقشه برای نمایش برخی از ویژگی‌های غیر جغرافیایی است. به عبارت دیگر کارتوگرام مساحت به نمایش توزیع جغرافیایی داده‌ها با الصاق اندازه‌گیری‌ها به مناطق نقشه و تغییر سایز مناطق متناسب با کمیت اندازه‌گیری شده، می‌پردازد. ابتدا از این کارتوگرام برای نمایش جمعیت در کشورها و نواحی استفاده می‌شد؛ به این ترتیب که مساحت هر کشور یا ناحیه با توجه به جمعیت آن، دچار مقدار قابل توجهی اعوجاج شده ولی در کل موقعیت جغرافیایی نسبی و شکل نسبی نواحی تا حد امکان در نقشه حفظ می‌شد [۸و۹].

از کارتوگرام مساحت سال‌های بسیاری است که برای نمایش داده‌های سرشماری از قبیل جمعیت، تولید ناخالص داخلی، اطلاعات انتخابات، بروز بیماری و دیگر اطلاعات آماری استفاده می‌گردد [۱۰]. به عنوان مثال می‌توان با تغییر اندازه در مساحت ایالت‌ها، کشورها و یا نواحی در نقشه متناسب با جمعیت آن‌ها یک کارتوگرام مساحت مبتنی بر جمعیت ایجاد کرد. شکل ۴(الف) به نمایش کارتوگرام قرمز-آبی[1] مربوط به ایالت متحده و شکل ۴(ب) به نمایش کارتوگرام مساحت آن با اضافه شدن اطلاعات آماری مربوط به جمعیت هر ناحیه می‌پردازد. نواحی قرمز رنگ نشان دهنده اکثریت بودن جمعیت جمهوری‌خواهان در آن ناحیه و نواحی آبی رنگ برای نمایش اکثریت بودن جمعیت دموکرات‌ها در ناحیه مورد نظر، استفاده شده است. کارتوگرام مساحت خود به دو قسمت پیوسته و غیرپیوسته تقسیم بندی می‌شود.



الف

ب

شکل۴- نقشه آبی-قرمز ایالت متحده (الف)، کارتوگرام مساحت مربوط به جمعیت ایالت متحده (ب) [۱۱]

۲-۳- کارتوگرام مساحت پیوسته و غیرپیوسته

کارتوگرام مساحت را می‌توان در دو دسته کارتوگرام پیوسته و کارتوگرام غیرپیوسته طبقه‌بندی کرد. در کارتوگرام پیوسته نواحی مختلف نقشه در کنار هم و بدون ایجاد فاصله قرار می‌گیرند. هدف استفاده از این کارتوگرام حفظ حداکثری روابط توپولوژیک و اتصالات بین مرزهای نواحی به همان صورت که در نقشه مرجع می‌باشند، است.

1 Red-blue map

در حالی که در مقایسه با کارتوگرام غیرپیوسته شکل نواحی دستخوش اعوجاج قابل ملاحظه ای می‌گردد [۱۲]. حفظ توپولوژی و مجاورت پلیگون‌های نواحی ایجاد کارتوگرام پیوسته را تا حدی با مشکل مواجه می‌کند.

کارتوگرام غیرپیوسته همانند نقشه‌ای جغرافیایی است که همه قسمت های آن از هم گسسته شده است. برخلاف کارتوگرام پیوسته کارتوگرام غیرپیوسته سعی در حفظ شکل نواحی دارد و کمتر در زمینه حفظ اندازه و مجاورت نواحی با یکدیگر کاراست. نواحی مجاور هم ملزم به حفظ روابط توپولوژیک خود با یکدیگر نیستند. در واقع این کارتوگرام با قربانی کردن توپولوژی و مجاورت سعی در حفظ شکل اولیه مناطق دارد؛ بدین ترتیب که با آزاد کردن یک ناحیه از قید و بندهای مربوط به مجاورت، ناحیه مزبور با افزایش یا کاهش ابعاد خود می‌تواند شکل کلی خود را حفظ کند. تولید کارتوگرام غیرپیوسته در مقایسه با کارتوگرام پیوسته راحت‌تر است، زیرا مرزهای مشترک نواحی در تبدیلات مختصات ناشی از اعوجاج تاثیری ندارند [۷و۱۲]. شکل ۵ نمونه‌های از کارتوگرام پیوسته و غیرپیوسته جمعیت مربوط به ایالت کالیفرنیا را نمایش می‌دهد. تفاوت بین شکل ۵ (ب) و (ج) در حفظ محل نقاط مرکز هر ناحیه می‌باشد. در کارتوگرام پیوسته شکل ۵(ب) کشیدگی و اعوجاج ناشی از اطلاعات در نواحی صورت گرفته است ولی مرکز هندسی نواحی در جای اولیه خود باقی مانده‌اند. این امر باعث ایجاد همپوشانی بین نواحی پس از ایجاد کارتوگرام شده است. در کارتوگرام شکل ۵(ج) راست نواحی علاوه بر ایجاد اعوجاج در نواحی و کشیدگی آن‌ها مراکز هندسی هر ناحیه نیز دستخوش جابه‌جایی شده است تا از همپوشانی بین نواحی جلوگیری شود.

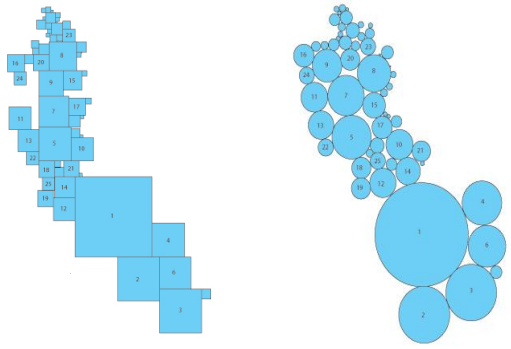
الف ب ج

شکل۵- کارتوگرام مساحت پیوسته (الف)، کارتوگرام مساحت غیرپیوسته (ب و ج) از ایالت کالیفرنیا [۱۲]

۲-۴- کارتوگرام‌های Dorling، Demers و Rectangular

کارتوگرام Dorling به علت ایجاد آن توسط Dorling، به این نام معروف است. برخلاف کارتوگرام‌های پیوسته و غیرپیوسته در این کارتوگرام نه توپولوژی و مجاورت نواحی حفظ می‌شود نه شکل و مرکز هندسی آن‌ها. با استفاده از این کارتوگرام صرفا نمایش ساده‌ای از پدیده آماری در بستر مکانی ارائه می‌شود. برای ایجاد این کارتوگرام شکل ناحیه دچار اعوجاج و یا کشیدگی نمی-گردد، بلکه از سمبل ساده همچون دایره بجای شکل پیچیده نواحی برای نمایش نسبت‌های آماری مربوط به هر ناحیه در نقشه استفاده می‌شود. اندازه هر دایره متناسب با اندازه نسبی متغیر آماری موردنظر در کارتوگرام تعیین می‌گردد. برای جلوگیری از همپوشانی نواحی، مناطق دستخوش جابه‌جایی حداقلی از مکان اصلی خود در نقشه می‌شوند [۱۲و۱۳].

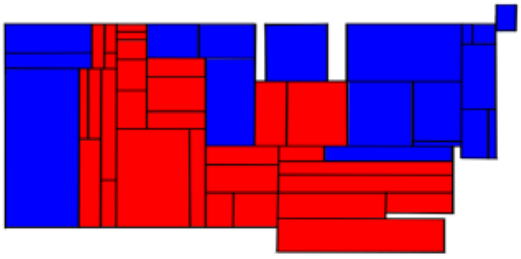
کارتوگرام Demers شبیه به کارتوگرام Dorling است با این تفاوت که در این کارتوگرام برای نمایش به جای دایره از مربع استفاده می‌گردد. در کارتوگرام Dorling سعی در حفظ حداقلی مکان صحیح نواحی در نقشه بود، حال آنکه در این کارتوگرام سعی در حفظ روابط توپولوژیک و مجاورتی بین نواحی است و گاهی برای حفظ ویژگی‌های بصری روابط فاصله‌ای و صحت مکانی نادیده گرفته می‌شود . شکل ۶ نمایی از دو کارتوگرام Dorling و Demers از جمعیت موجود در ایالت کالیفرنیا است. در هر دو کارتوگرام ۲۵ تا از پر جمعیت ترین کشورهار موجود در ایالت کالیفرنیا نمایش داده شده است [۱۲و۱۴و۱۵].



الف ب

شکل۶- کارتوگرام Dorling (الف) و کارتوگرام Demers (ب) مربوط به جمعیت ایالت کالیفرنیا [۱۲]

سومین نوع از کارتوگرام‌هایی که در این بخش معرفی می‌شود کارتوگرام Rectangular است. این کارتوگرام در سال ۱۹۳۴ توسط Raisz گردید. در این کارتوگرام هر ناحیه با استفاده از مستطیلی متناسب با مقدار داده آماری مورد نظر نمایش داده می‌شود. مساحت هر مستطیل بر اساس میزان داده آماری تعیین می‌شود. در این دسته از کارتوگرام ها نیز سعی شده تا روابط مجاورتی حفظ گردد ولی شکل کارتوگرام دستخوش تغییرات اساسی شده است. شکل ۷ نمونه ای از کارتوگرام Rectangular مربوط به جمعیت ایالت متحده را نمایش می‌دهد [۱۰].



شکل۷- کارتوگرام Rectangular از جمعیت ایالت متحده

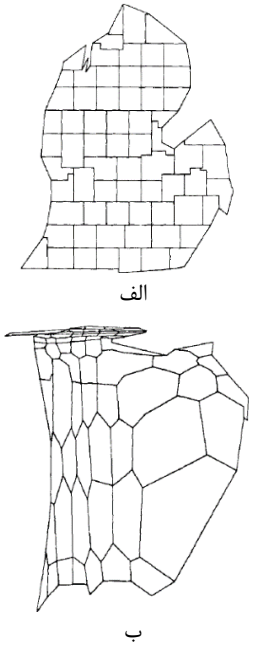
۳- روش‌های ساخت کارتوگرام

مبحث کارتوگرام دارای پیشینه طولانی در طول تاریخ می‌باشد و تحقیقات کثیری در زمینه روش‌های مختلف ساخت کارتوگرام انجام گرفته است. در ادامه به معرفی تعدادی از مهم‌ترین روش‌های موجود برای ایجاد کارتوگرام پیوسته پرداخته می‌شود.

۳-۱- روش Rubber map

روش Rubber map برای ایجاد کارتوگرام جمعیت نواحی توسط Tobler ارائه شد. در این روش ابتدا نقشه به واحدهای هم اندازه منظم تقسیم بندی می‌شود و سپس برای هر واحد تراکم جمعیت موجود در آن را محاسبه می‌کنند. بر اساس مقدار تراکم به دست آمده برای هر واحد جهت جابه‌جایی آن واحد مشخص می‌شود. در این کارتوگرام هر نفر یک نقطه در داخل نقشه فرض می‌شود. پس از مشخص شده تمام نقاط (نماینده افراد) در هر ناحیه از نقشه، نقشه دچار کشیدگی می‌گردد به گونه‌ای که فاصله موجود بین هر دو نقطه از نقشه در تمام نواحی نقشه یکسان گردد. فرض کنید که $h(x,y)$ تابع محاسبه تراکم جمعیت در نقطه با مختصات (x,y) باشد. یک مستطیل کوچک با مختصات چهارگوشه x، $x+\Delta x$، y و $y+\Delta y$ دارای جمعیتی برابر با $h(x,y).\Delta x.\Delta y$ خواهد بود. جمعیت موجود در این محدوده پس از اعمال روش Rubber map با جمعیت موجود در محدوده u، $u+\Delta u$، v و $v+\Delta v$ برابر خواهد بود [۱۶].

در کل اگر مراحل تولید کارتوگرام به درستی پیاده سازی شوند تمام نواحی با جمعیت یکسان در پایان باید دارای ابعاد برابر باشند [۱۵و۱۶]. شکل ۸ نقشه مربوط به میشیگان را نمایش میدهد که در بخش دوم با روش Rubber map به کارتوگرام جمعیت میشیگان تبدیل شده است.



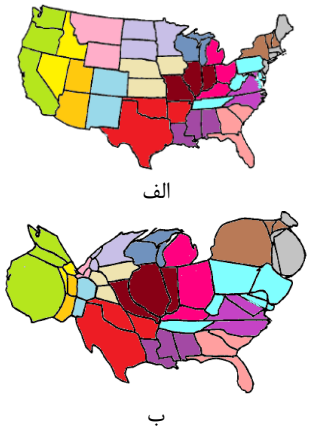
الف

ب

شکل۸- نقشه میشیگان (الف) و کارتوگرام ایجاد شده به روش Rubber map از جمعیت میشیگان در سال ۱۹۷۰ (ب) [۱۶]

۳-۲- روش DEMP

به دنبال راهی برای نمایش بصری و تحلیل داده‌های اپیدمیولوژیک، محققان آزمایشگاه لارنس دانشگاه برکلی موفق به ایجاد کارتوگرام DEMP شدند. این کارتوگرام از جابه‌جایی مرزهای هر ناحیه تا رسیدن به تراکم یکسان (تراکم از پیش تعیین شده) در جمعیت در تمام نواحی ایجاد می‌گردد. در این روش ابتدا فاکتور بزرگنمایی مکانی مربوط به هر ناحیه محاسبه می‌شود. یک ناحیه انتخاب می‌شود و تغییرات شعاعی در آن از سمت مرکز ناحیه به رئوس وارد گشته و باعث ایجاد جابه‌جایی در رئوس می‌گردد. مقدار این جابه‌جایی شعاعی از ضرب مقدار فاکتور بزرگنمایی هر ناحیه در مساحت آن ناحیه محاسبه می‌شود [۱۵و ۱۷].



الف

ب

شکل۹- نقشه اصلی ایالت متحده (الف)، کارتوگرام جمعیت به روش DEMP (ب) [۱۷]

۳-۳- روش Rubber Sheet

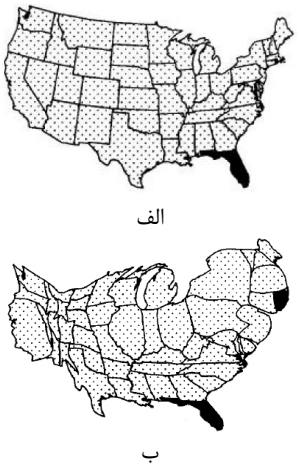
این روش برای ایجاد کارتوگرام پیوسته توسط Dougenik و در سال ۱۹۸۵ ارائه شد. این روش به منظور بهبود نتایج روش Rubber map ارائه گردید. الگوریتم فوق مبتنی بر ایجاد اعوجاج پلاستیکی است. در این روش برای هر ناحیه یک بردار نیرو بر همه رئوس ناحیه متناسب با خطای مساحت هر ناحیه و عکس فاصله آن محاسبه می‌گردد. یک نیروی خطی بر رئوس داخلی نزدیک مرکز ناحیه وارد می‌شود تا بی ثباتی حاصل از نیروهای شدید را کاهش بدهد. اگر مقدار نیرو مثبت باشد رئوس را از هم دور می‌کند و اگر مقدار نیرو منفی باشد رئوس را به هم نزدیک می‌کند. شدت نیروی اعمال شده بر روی هر پلیگون توسط اختلاف مساحت پلیگون‌های جاری و مورد نظر تعیین می‌شود. مساحت جاری مساحت هر ناحیه در هر بار تکرار می‌باشد و مساحت مورد نظر مساحت نقشه نهایی در کارتوگرام می‌باشد که هندسه آن تغییر کرده است. این مراحل تا زمانی تکرار می‌شود که نقشه حاصل به تراکم دلخواه و یکنواخت برسد. فرمول زیر نحوه محاسبه نیروی وارد بر مرزها از جانب هر ناحیه را ارائه می‌دهد:

$$F_{ij} = (p_j - q_j)p_j/d_{ij} \qquad (۱)$$

که در آن F_{ij} نیروی وارد از طرف پلیگون j به نقطه i، p_j جذر مساحت اولیه هر ناحیه تقسیم بر جذر عدد پی (π)، q_j جذر مساحت دلخواه هر ناحیه تقسیم بر جذر عدد پی (π) و d_{ij} فاصله بین مرکز ناحیه مورد نظر با نقطه i ام است. فرمول فوق برای زمانی است که مقدار d_{ij} بزرگتر از p_j باشد ولی اگر مقدار d_{ij} کوچکتر یا مساوی p_j باشد فرمول زیر مورد استفاده قرار می‌گیرید:

$$F_{ij} = (p_j - q_j)((4p_j - 3d_{ij})/p_j)(d_{ij}^2/p_j^2) \qquad (۲)$$

در این روش ممکن است گاهی مقداری همپوشانی به علت پیچیدگی شکل‌های چند ضلعی‌ها اتفاق بیفتد. به هرحال این روش در مقایسه با روش Rubber map دارای سرعت بالاتری می‌باشد. از مشخصات بارز این روش استفاده از تمام پلیگون‌ها در پیدا کردن مکان هر راس ناحیه می‌باشد [۱۵و۱۸]. شکل ۱۰ نقشه اصلی (الف) و کارتوگرام مربوط به جمعیت ایالت متحده در سال ۱۹۶۰ (ب) را نمایش می‌دهد که به روش Rubber Sheet ایجاد شده است.



الف

ب

شکل۱۰- نقشه اصلی (الف) و کارتوگرام مربوط به جمعیت ایالت متحده در سال ۱۹۶۰ به روش Rubber Sheet (ب) [۱۵]

۳-۴- روش Pseudo-cartograms

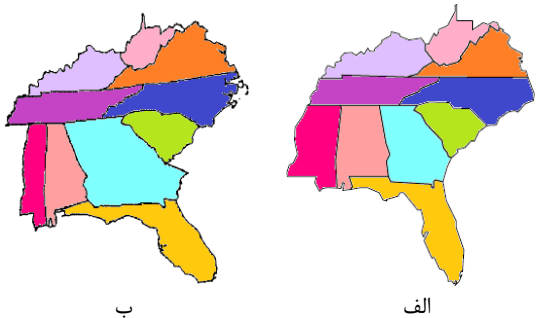
Tobler در سال ۱۹۸۶ روشی برای ایجاد شبه کارتوگرام یا یک تقریبی از کارتوگرام معرفی کرد که یک نقطه شروع مناسب برای آغاز محاسبات الگوریتم Rubber map ایجاد می‌کرد. این روش با تنظیم خطوط تقسیمات براساس طول و عرض جغرافیایی به دنبال حداقل کردن خطای مساحت در کارتوگرام می‌باشد. الگوریتم شبه کارتوگرام Tobler با شبکه‌ها (گرید) رسم شده بر روی نقشه شروع می شود، سپس خطوط افقی و عمودی شبکه حرکت داده می شوند و این شبکه‌ها روی نقشه دچار فشردگی و یا گسترش می شوند تا تراکم در تمام نقشه برابر شود [۱۴]. نمونه‌ای از کارتوگرام جمعیت ایجاد شده به این روش در شکل۱۱ مشاهده می‌شود.

الف ب

شکل۱۱- نقشه اصلی (الف) و کارتوگرام جمعیت ایالت متحده ایجاد شده به روش Pseudo-cartograms (ب) [۱۹]

۳-۵- روش Interactive Polygon Zipping

روش فوق سعی در ایجاد تعامل با کاربر در فرآیند ایجاد کارتوگرام دارد. در این روش کاربر به صورت مستقل به تغییر اندازه و چرخش نواحی در راستای محور X و Y می‌پردازد تا به شکل مطلوب در نواحی دست یابد. سپس نواحی در کنار یکدیگر با کمترین فاصله قرار می‌گیرند تا کارتوگرام نهایی ایجاد گردد. لبه‌های نواحی و پلیگون‌ها با روش Edge matching در کنار هم متصل می‌شوند. در این الگوریتم اعم مراحل فرآیند بر عهده کاربر می‌باشد. علاوه بر این در این الگوریتم از عدم اتصال پلیگون‌های دور از هم به هم توسط کاربر جلوگیری به عمل نمی‌آید، که این خود باعث ایجاد اشکال در نمایش کارتوگرام حاصل می‌گردد. از طرف دیگر ضعف در حفظ مجاورت در نواحی همسایه، ایراد دیگر موجود در این روش می‌باشد [۱۵و۱۹]. شکل۱۲ نقشه اصلی امریکای شمالی و کارتوگرام جمعیت آن در سال ۱۹۸۰ را نمایش می‌دهد.



ب الف

شکل۱۲- نقشه اصلی (الف) و کارتوگرام جمعیت آمریکای شمالی به روش Interactive Polygon Zipping (ب) [۱۵]

۳-۶- روش Line integral

Zade و Tikunov در سال ۱۹۹۳ روش انتگرال خطی را برای ایجاد کارتوگرام پیوسته مطرح کردند. روش انتگرال خطی با استفاده از تبدیلات شعاعی سعی در یکسان کردن تراکم در کارتوگرام نهایی دارد. در این روش ابتدا نقشه نواحی به گریدها و سلول‌های بسیار کوچک (ایجاد بی‌نهایت سلول) تقسیم بندی می‌شود. سعی بر این است که تعداد این سلول‌ها زیاد و ابعاد آن‌ها بسیار کوچک باشد. در داخل هر سلول یک نقطه به نمایندگی از سلول انتخاب می‌شود. سپس بر نقطه مذکور تبدیلات شعاعی اعمال می‌شود تا تراکم یکنواختی در سلول ایجاد گردد. این فرآیند برای نقطه نماینده تمام سلول‌ها انجام می‌گیرد. بدین ترتیب شکل کلی نقشه در اثر جابه‌جایی نقاط در جهت بردار برآیند انتقال‌های وارد بر هر سلول، تغییر می‌یابد. در پایان تنها رئوس مرزهای نواحی باقی خواهد ماند [۱۵و۲۰]. شکل۱۳(الف) مقشه اصلی ایالت متحده را نمایش می‌دهد. شکل۱۳(ب) کارتوگرام ایجاد شده از نقشه اصلی به روش Line integral را نمایش می‌دهد.

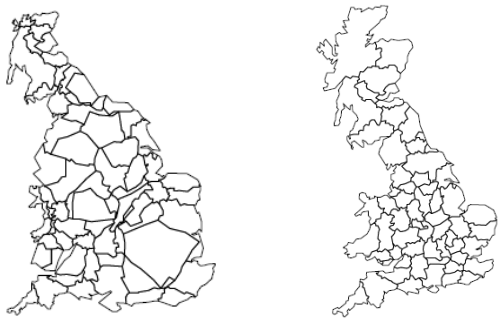
الف ب

شکل۱۲- نقشه اصلی (الف) و کارتوگرام جمعیت ایجاد شده به روش انتگرال خطی از ایالت متحده (ب) [۲۱]

۳-۷- روش Spring relaxation یا Constraint-Based

روش Spring relaxation یا روش مقید در سال ۱۹۹۸ توسط Kocmoud و House بر اساس محدودیت پیوستگی در کارتوگرام‌های پیوسته مطرح گردید. طبق این روش ایجاد کارتوگرام به عنوان یک مساله بهینه سازی محدوده در نظر گرفته می‌شود. نقشه مرتبط با

مجموعه‌ای از پلیگون‌ها و یک تابع مساحت در هر منطقه مورد مطالعه قرار گرفته، مطابق با مساحت کل نقشه و متغیرهای مورد نظر برای ایجاد کارتوگرام اقدام می‌شود. در این روش تا حد امکان زوایا و توپولوژی حفظ می‌گردد. همچنین می‌توان در این روش رئوس نواحی را ثابت در نظر گرفت و با تغییر در شکل و یا مساحت نواحی به کارتوگرام بهینه دست یافت. از ویژگی های بارز این روش وجود تعامل با کاربرد در ایجاد کارتوگرام می‌باشد [۲۱]. شکل ۱۴ کارتوگرام ایجاد شده به Constraint-Based برای جمعیت ایالت متحده را نمایش می‌دهد.

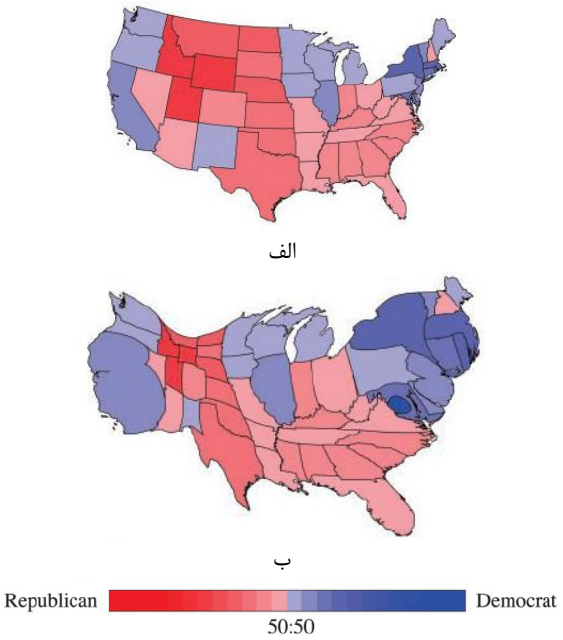


ب الف

شکل۱۴- نقشه اصلی (الف) کارتوگرام جمعیت انگلستان حاصل از روش Constraint-Based (ب) [۲۱]

۳-۸- روش Diffusion

همانطور که پیشتر بیان شد، برای ایجاد یک کارتوگرام جمعیت باید محدوده و مساحت نواحی به گونه‌ای تغییر کند که تراکم جمعیت در تمام سطح نقشه کارتوگرام حاصل یکنواخت باشد. پس برای ایجاد چنین کارتوگرامی لازم است یک جریان از نواحی با جمعیت بالا به سمت نواحی با جمعیت کم ایجاد گردد تا چگالی جمعیت در تمام نقاط یکنواخت گردد. یکی از راه‌های موجود برای انتقال این جریان استفاده از فرآیند انتشار خطی[1] است. در این روش برای تعریف جمعیت یک تابع با متغیر موقعیت نقاط ایجاد می‌گردد و روی این تابع عملیات انتشار صورت می‌گیرد. وقتی حد این تابه به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، چگالی جمعیت در سراسر کارتوگرام یکنواخت می‌شود. جابه‌جایی ایجاد شده در نقشه از ابتدا تا پایان فرآیند نشان دهنده میزان تغییرات لازم برای دستیابی به چگالی یکنواخت می‌باشد [۲۲]. شکل۱۵ نقشه اصلی و کارتوگرام جمعیت ایالت متحده حاصل از روش انتشار خطی را نشان می‌دهد که در آن رنگ‌ها نشان دهنده مناطق جمهوری‌خواه و دموکرات هستند.

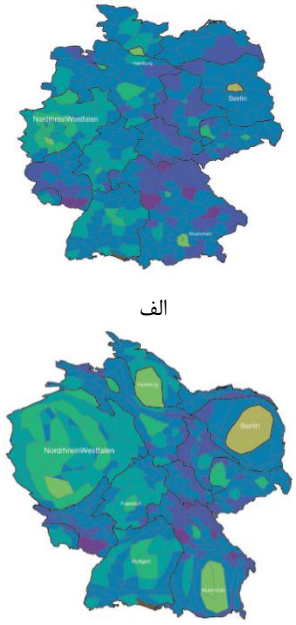


شکل۱۵- نقشه اصلی (الف) و کارتوگرام جمعیت ایجاد شده به روش Diffusion از ایالت متحده (ب) [۲۲]

۳-۹- روش Medial–Axes–Based cartogram

روش ایجاد کارتوگرام Medial–Axes–Based cartogram توسط Keim و همکاران در سال ۲۰۰۵ ارائه شد. در این روش از محور میانی (Medial–Axes) یک شی برای ساخت کارتوگرام استفاده می‌شود. این محور میانی در واقع نمایشی خلاصه از شکل شی می‌باشد و می‌تواند توسط اتصال با مراکز بزرگترین دایره‌های محاط در داخل شی بدست آید. در این روش ابتدا برای تمامی نواحی در نقشه محور میانی تشکیل داده می‌شود. سپس مناطق در امتداد خط عمود بر محور میانی (خطوط قطع کننده) دچار انبساط یا انقباض می‌گردند. مزیت اصلی این روش زمان پردازش کوتاه آن است. طراحان این روش ادعا کرده‌اند که با استفاده از این الگوریتم می‌توان زمان ایجاد کارتوگرام را نسبت به روش‌های پیشین چندین برابر بهبود بخشید [۲۳]. در شکل۱۶ کارتوگرام جمعیت آلمان که به روش محور میانی ایجاد شده است، در کنار نقشه اصلی کشور آلمان نمایش داده شده است.

1 Linear deffusion



الف

ب

شکل۱۶- نقشه اصلی (الف) و کارتوگرام جمعیت آلمان ایجاد شده به روش محور میانی (ب) [۲۳]

۴- مقایسه روش‌های ایجاد کارتوگرام

در بین انواع کارتوگرام، تنها در کارتوگرام غیرپیوسته است که شکل نواحی حفظ می‌شود و در باقی کارتوگرام‌ها همجون کارتوگرام‌های پیوسته بخش از شکل یا کل شکل نواحی دچار تغییر می‌گردد. در این بین کارتوگرام مستطیلی، کارتوگرام Dorling و کارتوگرام Demers قادر به حفظ شکل نواحی نیستند. از سوی دیگر حفظ شکل نواحی مراحل ایجاد کارتوگرام را سخت تر خواهد می‌کند. در کارتوگرام‌های پیوسته اغلب اولویت با حفظ روابط توپولوژیک و مجاورت بین نواحی است تا حفظ شکل نواحی؛ حال آنکه در کارتوگرام‌های غیرپیوسته عملا این روابط همسایگی حفظ نخواهند شد.

اولین روش معرفی شده در این تحقیق برای ساخت کارتوگرام، روش Rubber map می‌باشد که در این روش برای ایجاد کارتوگرام ابتدا باید تابعی برای محاسبه چگالی نقاط تعیین شود. بنابراین انتخاب تابع مناسب برای چگالی نقاط یکی از نکات مهم است. همچنین نتایج این روش برای نواحی اقیانوسی کاملا درست نخواهد بود زیرا نقشه در این مناطق تا حد زیادی زیادی تابع مسائل زیبایی شناختی در نمایش است. در این روش بهبود نتایج تابع تعداد تکرار در الگوریتم می‌باشد که با افزایش تکرار خواهد شد [۱۶]. عدم دستیابی به دقت مطلوب و مورد نیاز در روش Rubber map سبب ایجاد الگوریتم Rubber sheet گردید که در آن تغییرات به صورت مستقیم به نواحی وارد می‌شود نه سطوح واسط. همچنین توپولوژی بین نواحی به علت smooth بودن الگوریتم فوق پس از تبدیل حفظ خواهد شد [۱۸]. اگرچه این روش از دقت خوبی برخوردار است ولی احتمال ایجاد اعوجاج بالونی و تغییر خطوط مستقیم به منحنی در آن وجود دارد[۸]. سرعت این روش در مقایسه با روش Rubber map بیشتر بوده و از تمام پلیگون‌ها برای پیدا کردن مرزهای هر پلیگون در کارتوگرام استفاده می‌کند. همچنین در این روش امکان ایجاد نواحی دارای همپوشانی در برخی موارد وجود دارد که خود ایراد برای این روش به شمار می‌رود.

الگوریتم Pseudo-cartograms به ایجاد مقدار اولیه برای الگوریتم Rubber map می‌پردازد و مانند روش Rubber map دارای مشکل وابستگی به سیستم مختصات در اجرای تبدیلات می‌باشد. البته استفاده از طول و عرض جغرافیایی در گریدبندی مناطق در نقشه تا حدی مراحل ایجاد کارتوگرام را راحت تر کرده است. نکته مهم که باعث تمایز روش Interactive Polygon Zipping از سایر روش‌ها می‌باشد، وجود تعامل با کاربر در این روش در طی مراحل ساخت کارتوگرام است. این امر سبب می‌شود که کارتوگرام حاصل تا حد زیادی با نیاز کاربر تطابق داشته باشد. از طرف دیگر مشارکت کاربر ممکن است سبب افزایش خطای انسانی در کارتوگرام حاصل شود. الگوریتم Constraint-Based از دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده برای ایجاد کارتوگرام پیوسته است که در مقایسه با سایر روش‌های ایجاد کارتوگرام پیوسته امتیاز حفظ حد اکثری شکل نواحی و بازیابی مناسب مرزهای آن‌ها را دارا می‌باشد. علت این امر امکان تعریف قید حفظ مرزها در ایجاد کارتوگرام به این روش می‌باشد. به صورتی که با تعریف یک مسئله مقید که مرزها در آن امکان جابه‌جایی ندارند می‌توان شکل نواحی را از تغییر حفظ کرد. آخرین روش مورد بررسی روش Medial–Axes-Based می‌باشد. مزیت اصلی این روش زمان پردازش کوتاه آن در مقایسه با سایر روش‌های موجود برای ایجاد کارتوگرام پیوسته است.

۵- نتیجه گیری

با توجه به نقش مهم نقشه‌ها در انتقال اطلاعات مکانی به صورت جامع و مانع، آشنایی با انواع نقشه‌ها و روش ساخت

هر یک جهت توسعه آن‌ها از ضروریات جوامع امروز است. کارتوگرام نقشه‌ای با قابلیت نمایش اطلاعات آماری به صورت گرافیکی است که در آن متناسب با داده‌های آماری اعوجاجاتی صورت می‌گیرد. ابتدا از کارتوگرام برای نمایش جمعیت نواحی مختلف استفاده می‌شد، ولی با گذشت زمان و پیشرفت روش‌های تولید این نقشه‌ها، از آن‌ها برای نمایش سایر اطلاعات آماری استفاده شد. تحقیق پیش رو به معرفی کارتوگرام و انواع آن پرداخته است. همچنین روش‌های مختلف ایجاد کارتوگرام‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر نیز در تحقیق مورد بحث قرار گرفته است.

مراجع

[1] Shimizu, E., and Inoue, R. (2009). A new algorithm for distance cartogram construction. International Journal of Geographical Information Science, 23(11), 1453-1470.

[2] Henriques, R., Bação, F., and Lobo, V. (2009). Carto-SOM: cartogram creation using self-organizing maps. International Journal of Geographical Information Science, 23(4), 483-511.

[3] Keim, D., North, S. C., Panse, C. and Schneidewind, J. (2002). Efficient cartogram generation: A comparison. In Information Visualization, 2002. INFOVIS 2002. IEEE Symposium on (pp. 33-36).

[4] Raisz, E. (1936). Rectangular statistical cartograms of the world. Journal of Geography, 35(1), 8-10.

[5] Olson, J. M. (1976). Noncontiguous area cartograms. The Professional Geographer, 28(4), 371-380.

[6] Van Kreveld, M., and Speckmann, B. (2007). On rectangular cartograms. Computational Geometry, 37(3), 175-187.

[7] Du, C., and Liu, L. (1999, June). Constructing contiguous area cartogram using ArcView Avenue. In Proceedings of Geoinformatics ‘99 Conference (pp. 1-7).

[8] House, D. H., and Kocmoud, C. J. (1998, October). Continuous cartogram construction. In Visualization'98. Proceedings (pp. 197-204). IEEE.

[9] Cartogram Types. (2016). (Cartogram) Retrieved 1 30, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Cartogram

[10] Alam, J., Kobourov, S. G., and Veeramoni, S. (2015). Quantitative Measures for Cartogram Generation Techniques. In Computer Graphics Forum, special issue on EuroVis (Vol. 15).

[11] Gastner, M. T., Shalizi, C. R., and Newman, M. E. (2005). Maps and cartograms of the 2004 US presidential election results. Advances in Complex Systems, 8(01), 117-123.

[12] Cartogram. (2012). (Cartogram) Retrieved 1 3, 2016, from http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/Cartogram_Central/types.html

[13] Dorling, D. (1996). Area cartograms: their use and creation. In Concepts and techniques in modern geography.

[14] Sun, H., and Li, Z. (2010). Effectiveness of cartogram for the representation of spatial data. The Cartographic Journal, 47(1), 12-21.

[15] Kocmoud, Christopher James. Constructing continuous cartograms: a constraint-based approach. Diss. Texas A&M University, 1997.

[16] Tobler, W. R. (1973). A continuous transformation useful for districting. Annals of the New York Academy of Sciences, 219(1), 215-220.

[17] Selvin, S., Merrill, D., Schulman, J., Sacks, S., Bedell, L., and Wong, L. (1988). Transformations of maps to investigate clusters of disease. Social Science & Medicine, 26(2), 215-221.

[18] Dougenik, J. A., Chrisman, N. R., and Niemeyer, D. R. (1985). AN ALGORITHM TO CONSTRUCT CONTINUOUS AREA CARTOGRAMS∗.

[19] Torguson, J. S. (1990). Cartogram: a microcomputer program for the interactive construction of contiguous value-by-area cartograms.

[20] Gusein-Zade, S. M. and Tikunov, V. (1993). ‘A new technique for constructing contiguous cartogram’, Cartography and Geographic Information Systems, 20, pp. 167–173.

[21] Kocmoud, C. J. and House, D. H. (1998). ‘A Constraint-based Approach to Constructing Contiguous Cartograms’, in Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Data Handing, p. 236, Vancouver, BC, Jul 11–15.

[22] Gastner, M. T., and Newman, M. E. (2004). Diffusion-based method for producing density-equalizing maps. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101(20), 7499-7504.

[23] Keim, D. A., Panse, C., and North, S. C. (2005). Medial-axis-based cartograms. Computer Graphics and Applications, IEEE, 25(3), 60-68.