مقدمه ای بر
کارتوگرافی مدرن
تحول در کارتوگرافی

قسمت سو

مهندس مهدی مدیری
عضو هیأت علمی دانشگاه و سردبیر نشریه علمی فنی سپهر

اشاره:

در شماره‌های گذشتهٔ مجله رشد آموزش جغرافیا دو مقاله برای معرفی کارتوگرافی مدرن و تحولات کارتوگرافی ارائه گردید. در این شماره بیشتر سیر تحولات در کارتوگرافی و تاریخچه آن مورد توجه قرار گرفته است.

مقدمه

کارتوگرافی هنر و علم آفرینش و ایجاد نقشه است. کارتوگرافی مستلزم جمع‌آوری داده‌های جغرافیایی، ذخیره‌سازی، پردازش و ویرایش آن‌ها و نمایش اطلاعات جغرافیایی به شکل نقشه است. کارتوگرافی به دانش جغرافیایی معقول و منطقی از سطح زمین نیاز دارد که در فرایند تهیهٔ نقشه، کارساز و موثر است.

تاثیر فناوری

اولین پیشرفت فناوری عمده و مهم در ساخت نقشه، اختراع ماشین چاپ بود که ابتدا در قرن دوازدهم میلادی در چین و بعد در قرن پانزدهم در اروپا، ظاهر شد. ماشین چاپ این امکان را فراهم آورد که نقشه‌های بیش‌تری در دورهٔ زمانی کوتاه‌تری ساخته شوند که اولاً، قابلیت دسترسی به آن‌ها را افزایش داد و ثانیاً، هزینهٔ ساخت و تولید آن‌ها را نیز پائین آورد.

پیش از ظهور و پیدایش عصر رنسانس در اروپا، نقشه‌هایی که بیش‌تر مردم اروپا با آن‌ها آشنایی داشتند، دارای درون‌مایه‌های عرفانی و برگرفته از کتاب‌های آسمانی تورات و انجیل بودند؛ با ترکیبی از شمایل‌ها و تصویر مکان‌های واقعی. از شمایل‌ها و شکل‌های عرفانی و تمثیلی در بیش‌تر مواقع برای نمایش و نشان دادن مکان‌های ناشناختهٔ جهان استفاده می‌شد.

در هر صورت، پیشرفت‌هایی که در صنعت چاپ به‌وقوع پیوست، تولید نقشه را صرفاً براساس هدف‌های عملی، به‌ویژه کشتیرانی و دریانوردی، سهولت بخشید و اکتشافات نیز به نوبهٔ خود، پیوسته از دامنه و گسترهٔ ناشناخته‌ها کاست. در این راستا، نقشه نه‌تنها اکتشاف سرزمین‌های ناشناخته را تشویق و ترغیب می‌کرد، بلکه آن را سهولت نیز می‌بخشید. این امر به نوبهٔ خود کارتوگرافان را بر آن داشت که نقشه‌های دقیق‌تر گسترده‌تری ارائه کنند.

تأثیر متقابل تهیهٔ نقشه و اکتشافات را می‌توان در افزایش سرعت به‌کارگیری جزئیات در نقشه‌هایی مشاهده کرد که ماجراجویان و دریانوردان اسپانیایی در اکتشافات خود، برای دستیابی به سرزمین‌های ناشناخته در آمریکای شمالی، بین قرن‌های ۱۵ و ۱۶ ساخته بودند. گرچه ترسیمات اولیه و نخستین **کلمبوس** از جزایر کارائیب و ترسیمات اولیهٔ **گوردز** از سواحل کالیفرنیا، چیزی بیش‌تر از خطوط کج و معوج نبودند، اما همین نقشه‌های خام بودند که به استقرار و تأسیس امپراتوری دنیای جدید اسپانیا کمک کردند.

هنگامی که امپراتوری اسپانیا، در فتوحات خود، به اوج قدرت و حداکثر قلمرو خود در آمریکای شمالی رسیده بود، نقشه‌ها پیچیده‌تر شده بودند و جزئیات بیش‌تری را در خود نشان می‌دادند.

پیشرفت عمدهٔ بعدی در فناوری ساخت نقشه، در اواسط ۱۸۰۰ میلادی، با تحول و پیشرفت عکسبرداری پدید آمد. عکاسی، کارتوگرافان را قادر ساخت که جزئیات دقیق داده‌های سطحی را ضبط و ذخیره کنند. بعد هم «فتوگرامتری» که از دوربین‌های ویژه و پروژکتورهای تصویری، برای انتقال و برگردان عکس‌ها به

نقشه‌های دقیق نقشه‌برداری استفاده می‌کرد، خیلی زود و درپی عکسبرداری اختراع شد. وقتی عکسبرداری، به خود جنبهٔ عملی‌تر و تجاری گرفت، اهمیت کاربردش در تکثیر نقشه افزایش یافت.

اختراع و پیشرفت شیوه‌های مدرن چاپ در پایان قرن نوزدهم، به‌خصوص «لیتوگرافی» که ثبت جزئیات ظریف و سایه‌زنی را ممکن ساخت، امکانات جدیدی را برای تکثیر آسان نقشه‌های پیچیده و پیشرفته فراهم آورد. از جمله سایر عواملی که به پیشرفت کارتوگرافی در اواخر سال‌های ۱۸۰۰ و اوایل دههٔ نخست ۱۹۰۰ میلادی کمک کردند، می‌توان به توسعه و پیشرفت زیرساخت‌های عمومی در اطراف شهرهای بزرگ اشاره کرد. رشد و افزایش عمران زیربنایی، به‌ویژه احداث سیستم‌های حمل و نقل، می‌طلبید که مقامات شهری به برنامه‌ریزی و تهیهٔ نقشه‌های گسترده‌ای دست بزنند. پیدایش رشتهٔ آمار نیز به کارتوگراف‌ها کمک کرد؛ زیرا به آن‌ها امکان می‌داد که کلیات دشوار ریاضی را به نمادهای جغرافیایی، از قبیل توزیع تراکم جمعیت در نواحی شهری، برگردان و انتقال دهند.

امروزه، اطلاعات آماری پیچیده درخصوص موضوع و مضمون معینی که از مفهوم جغرافیایی برخوردار است، نقشه‌های آماری یا موضوعی را شکل می‌دهند. به‌علاوه، در این زمان، انجمن‌های کارتوگرافی شروع به شکل‌گیری کردند و به کارتوگرافی به‌عنوان یک حرفه و تخصص، اعتبار زیادی بخشیدند. اگرچه کارتوگرافان دریافتند که ضبط داده‌ها با عکس آسان است، ولی تنها راهی که آن‌ها می‌توانستند، به خطوط و نمای کلی چشم‌انداز برای استفاده در فتوگرامتری دست یابند، صعود به کوه یا بالا رفتن از برج‌های مشاهداتی بود.

ظهور بالن در قرن نوزدهم میلادی، نوید جدیدی به ارمغان آورد. ولی عیبش این بود که کنترل آن دشوار بود و دوربین‌های کارتوگراف‌ها نیز آن‌قدر پیشرفته نبودند که به اندازهٔ کافی جزئیات زمین را ضبط و ثبت کنند. همچنین، بالن‌ها در زمان جنگ هدف‌های آسانی برای دشمن بودند.

دوربین‌های کوچک‌تر، به کارتوگراف‌ها قابلیت تحرک و حرکت بیش‌تری می‌دادند و فیلم‌هایی که حساسیت بیش‌تری داشتند، به کارتوگرافان امکان می‌دادند که در طیف وسیع‌تری از شرایط، به عکس‌برداری بپردازند. با وجود این، بزرگ‌ترین گام با اختراع هواپیما و عکسبرداری هوایی واقعی برداشته شد. هواپیما می‌توانست در ارتفاعات بالا عکس‌های دقیقی از سطح زمین بگیرد. درنتیجه نقشه‌های دقیق قائم (عمود بر زمین) با ابعاد نسبتاً وسیع، و با جزئیات ظریف به‌دست آمدند.

در میان اولین مسافرانی که با هواپیمای آزمایشی برادران رایت به پرواز درآمدند، یک کارتوگراف بود که خود را کاملاً به تمام وسایل مجهز کرده بود. شناسایی هوایی در هر دو جنگ اول و دوم جهانی، نقش بسیار مهم خود را به ثبوت رساند. و امروزه فتوگرامتری هوایی متداول‌ترین وسیلهٔ جمع‌آوری داده از راه دور، برای تهیهٔ انواع بسیاری از نقشه‌هاست.

عصر جدید

از اواسط قرن بیستم میلادی، فناوری روز باعث شد که کارتوگرافی حرفه‌ای به سرعت دستخوش تحول شود. فتولیتوگرافی و حکاکی روی عکس، فتوگرافی را با چاپ، ادغام و ترکیب کرد. حالا دیگر چاپ افست لیتوگرافی، با رنگ‌های گوناگون در سرعت بالایی می‌توانست، نقشه‌هایی تقریباً با هر درجه‌ای از دقت، جزئیات، و طرح رنگی تولید کند. این فناوری که به‌عنوان فناوری سنجش از دور شناخته شده است، کارتوگرافان مدرن امروزی را قادر ساخته است که از اعماق اقیانوس‌ها یا فضاهای بیرون از جو زمین، نقشه تهیه کنند. این کارتوگرافان در طرح‌ها و برنامه‌های فضایی، با بردن انواع دوربین‌های مدرن به مدار زمین، توانسته‌اند مجموعهٔ وسیعی از تصویرهای زمین، سیارات و حتی کهکشان‌ها تهیه کنند. در این‌جا باید تأکید کرد که پیشرفت‌های فوق‌العادهٔ کارتوگرافی به همان اندازه، از پیشرفت‌های ارتباطات الکترونیکی و انواع کاربردهای رایانه‌ای نیز متأثر شد. رایانه‌های مدرن می‌توانند، مقادیر عظیمی از داده‌های لازم برای تهیه نقشه را ذخیره و انتقال دهند و آن‌گاه با تجمع چنین داده‌هایی، می‌توان تولید نقشه را با استفاده از رقومی‌کننده‌های پیشرفته، دستگاه‌های رسام و تیپوگرافی الکترونیکی کنترل کرد. در دنیای فناوری جمع‌آوری اطلاعات، دوربین‌های پیشرفته‌ای تولید شده‌اند که می‌توانند داده‌های دیجیتالی را از فضاهای دور به زمین انتقال دهند و به کمک آن‌ها امکان بازیابی اطلاعات دیجیتالی هر مکان یا هر موضوع جغرافیایی در نقشه فراهم می‌شود. سیستم‌های جمع‌آوری اطلاعات (GIS) که در ادامه بیان می‌شوند، جدیدترین ترکیب از این فناوری‌ها هستند.

اصول و مبانی

نقشه باید دقیق، صحیح و به هنگام باشد و ضمن حفظ اصالت عوارض و هندسهٔ دقیق آن‌ها در یک چارچوب هندسی، خوانا، گویا، زیبا و به‌راحتی قابل فهم باشد. لذا نباید تصور شود که کارتوگرافی به‌عنوان یک تکنیک با روش‌های عملیاتی، تنها کیفیت هنری نقشه را تأمین می‌کند. هرچند تکنیک‌های ساخت و پرداخت نقشه با به‌کارگیری رایانه و تکنیک‌های اتوماتیک به پیشرفت‌های چشمگیر دست می‌یابند، لیکن تعیین دانش تهیهٔ نقشه، متکی بر اصول و مبانی ریاضی است. نقشه‌ای مطلوب است که اطلاعات آن در یک چارچوب ریاضی و

براساس اصول و مبانی ریاضی تهیه شده باشند.

مقیاس، سیستم‌های تصویر، جنرالیزه کردن یا تعمیم اطلاعات جغرافیایی، طراحی و ترسیم، اصول و مبانی کارتوگرافی را تشکیل می‌دهند. بخشی از این اصول و مبانی در حیطهٔ کارتوگرافی ریاضی هستند؛ مانند مقیاس که در کارتوگرافی نه تنها یک اصل، بلکه بیان‌کنندهٔ هدف، اهمیت و کاربرد نقشه است. سیستم‌های تصویر که به لحاظ ریاضی چگونگی انتقال سطح کروی را بر یک سطح مستوی، بیان می‌دارند و یا بخشی از ترسیم که در چارچوب ریاضی شکل می‌گیرد، ضامن کیفیت اساسی نقشه است. جنرالیزه کردن یا تعمیم اطلاعات جغرافیایی نیز براساس مبانی علمی و با توجه به قواعد فنی کارتوگرافی صورت می‌گیرد. طراحی و ترسیم اطلاعات جغرافیایی علاوه بر اصول و ضوابط فنی، متأثر از ذوق هنری نیز هست. این امر مستلزم آشنایی با هنرهای زیبا و بهره‌گیری از رموز زیبایی‌شناسی و روان‌شناسی رنگ است تا بین تهیه‌کننده و کاربران ارتباط شایسته به‌وجود آورد و کیفیت هنری نقشه را تأمین کند.

مقیاس در کارتوگرافی مدرن چگونه است؟

در کارتوگرافی مدرن، بسیاری از اصول و مفاهیم ابعادی تازه و متنوع به خود گرفته‌اند. همان طور که اشاره شد، تاکنون «مقیاس» ملاک ارزش اطلاعات و بیان‌کنندهٔ دقت نقشه بوده است، در حالی که امروزه «مقیاس» نه‌تنها نشان‌دهندهٔ رابطهٔ پدیده‌ها در نقشه و زمین و بیان‌کنندهٔ دقت داده‌های جغرافیایی در زمان ورود به سیستم است، بلکه پایه و اساس عملکردهای حال و آینده و انتظارات نیز هست. به تعبیر دیگر، مقیاس معرف کیفیت اساسی بانک اطلاعاتی و سیستم‌های اطلاعات کارتوگرافی و جغرافیایی است. «مقیاس» از محدودیت‌های بخش‌های گوناگون مجموعهٔ سخت‌افزار، اعم از ورودی‌ها، پردازشگرها، خروجی‌ها و نیز نرم‌افزارها و توانایی کاهش خطاها در فرایند ذخیره‌سازی، بازسازی، محاسبات، شبکه‌بندی، تجزیه و تحلیل و ویرایش نیز تأثیر می‌پذیرد.

از این رو، مبحث «مقیاس» در کارتوگرافی مدرن، به‌طور کلی متفاوت از «مقیاس» در کارتوگرافی کلاسیک بررسی می‌شود.

کیفیت مورد انتظار

مبنای تصمیم‌گیری و انتخاب اطلاعات پایه، کیفیت اطلاعات جغرافیایی است. بسیاری از مراکز اجرایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و کاربران آن‌ها، در پی به‌کارگیری و بهره‌برداری از رایانه‌های قوی‌تر با توانایی‌های گوناگونی از جمله: حجم بالای حافظه، قدرت پردازش و نمایش گرافیکی زیاد (اندازه‌ها، رنگ و فرم نمایش) و انواع برنامه‌های با توان تجزیه و تحلیل و قدرت مدل‌سازی هستند و کم‌تر به کیفیت اطلاعات توجه دارند. در حالی که امروزه، بسیاری از انتظارات گردانندگان سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و کاربران آن‌ها برآورده نشده است و سرمایه‌گذاری‌های بسیار وسیعی که در زمینهٔ تهیهٔ سیستم‌های سخت‌افزاری، گردآوری و فراهم ساختن داده‌های جغرافیایی و ذخیره‌سازی آن‌ها شده، نتوانسته است وعده‌ها را برآورده سازد.

کیفیت اطلاعات از جمله مسائل اساسی و مهمی است که کم‌تر پیرامون آن بحث شده است. کیفیت اطلاعات، با دقت، صراحت، مبانی علمی ترکیب اطلاعات، تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی ارتباط مستقیم دارد.

به طور کلی عوامل مؤثر و تعیین‌کنندهٔ کیفیت را می‌توان در هفت محور بیان کرد:

- گردآوری داده‌های جغرافیایی؛
- ذخیره‌سازی، نگهداری و جست‌وجوی داده‌های جغرافیایی؛
- بانک اطلاعات جغرافیایی؛
- ساختار اطلاعات؛
- ذخیره‌سازی، نحوهٔ جست‌وجو و توزیع و پخش اطلاعات؛
- ویرایش اطلاعات؛
- سیستم‌های خروجی (چاپگرها، رسام‌ها، تصویرنگار و سیستم‌های چاپ دیجیتالی).

گردآوری داده‌های جغرافیایی

در کارتوگرافی مدرن، هدف تهیهٔ نقشه و کاربرد آن، نقش اصلی را در نحوهٔ گردآوری و حجم داده‌ها، وسعت عملیات و دقت داده‌های جغرافیایی دارد و مقیاس خروجی‌ها به تبع دقت داده‌های جمع‌آوری‌شده، اعم از نقشه‌برداری زمینی، نقشه‌برداری هوایی، تصویربرداری ماهواره‌ای و نقشه‌های مشتقه است.[1]

ذخیره‌سازی، نگهداری و جست‌وجوی داده‌های جغرافیایی

انتخاب فرمت مناسب با مشخصات کامل توپولوژیکی داده‌های جغرافیایی، برای ارزیابی صحت و ماهیت داده‌ها در طول زمان و انباشت مجموعهٔ گستردهٔ داده‌های فضایی برای مراحل متعدد پردازش، تجزیه و تحلیل و آزمون مدل‌ها، اهمیت زیادی دارد.

بانک اطلاعات جغرافیایی

بانک اطلاعات جغرافیایی، متناسب با کاربردهای گوناگون سیستم اطلاعات جغرافیایی به گونه‌ای طراحی و توسعه می‌یابد که امکان تأمین خواسته‌ها و انتظارات کاربران را فراهم سازد. به همین منظور تهیه و تنظیم فهرستی از انواع عوارض، مشخصه‌ها و توصیفات آن‌ها ضروری است. به‌عنوان مثال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- شرح عوارض به لحاظ طبقه‌بندی و تعیین نوع عارضه، مانند طبقه‌بندی انواع جاده و راه؛
- ساده کردن اطلاعات و اندازهٔ عوارض. برای مثال، تک‌ساختمان‌ها در یک منطقهٔ شهری که به فواصل معینی از یکدیگر قرار دارند، به صورت یک بلوک ساختمانی در نظر گرفته می‌شوند؛
- شکل هندسی اطلاعات فضایی (نقطه‌ای، خطی، سطحی و حجمی و یا ترکیبی از آن‌ها).
- محدوده‌های نامعین، مانند محدودهٔ دریاچهٔ پشت سدها که دائماً در طول سال تغییر می‌کنند؛
- توصیف عوارض؛
- مشخصات عوارض همراه با شرط‌های سازگاری و غیره؛

ساختار اطلاعات

در این‌جا منظور از ساختار اطلاعات، فرمت و قالب اطلاعات برای مبادلهٔ بین سازمانی، ملی و بین‌المللی است تا براساس استانداردهای بانک‌های اطلاعات گرافیکی، امکان تغییر و تبدیل اطلاعات جغرافیایی فراهم شود.

ذخیره‌سازی، نحوهٔ جست‌وجو، توزیع و پخش اطلاعات

بررسی کیفیت اطلاعات، مستلزم آگاهی و شناخت کامل از چگونگی ذخیره‌سازی، نگهداری، جست‌وجو، بازنگری و به‌روز نمودن است. از همه مهم‌تر وسایل پخش، توزیع و تکثیر (ارائه) اطلاعات هستند.

بازنگری اطلاعات جغرافیایی

معمولاً اطلاعات جغرافیایی دینامیک هستند و بر اثر مرور زمان تغییر می‌یابند. توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی در بازنگری پیوستهٔ داده‌های جغرافیایی و تسهیل در به‌روز درآوردن آن‌ها از طریق حذف، تغییر، جایگزینی، ترکیب و تصحیح این اطلاعات، از نکات قابل توجه است.

پخش و تکثیر اطلاعات جغرافیایی

یکی از موارد اصلی در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، امکان دسترسی آسان و سریع به اطلاعات است. محافظت اطلاعات از آسیب ویروس‌های رایانه‌ای و نیز حذف یا تغییر عمدی در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و دیسکت‌های حاوی اطلاعات، مسائلی هستند که برای مقابله با آن‌ها باید در سیستم پیش‌بینی‌های لازم را به‌عمل آورد، و برنامه‌های کنترلی لازم را در نظر گرفت.

پردازش کارتوگرافی و دقت‌های لازم

داده‌های جغرافیایی پس از مراحل گوناگون پردازش، تصحیح و ویرایش به صورت اطلاعات جغرافیایی درمی‌آیند، شرایط هرگونه تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی کارتوگرافی را فراهم می‌سازند و بانک اطلاعاتی سازمان‌یافته‌ای را تکشیل می‌دهند. چگونگی عملیات پردازش داده‌های جغرافیایی، در دقت اطلاعات جغرافیایی تأثیر دارد و بیانگر تناسب انتظارات کاربران از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و داده‌های گوناگون جغرافیایی گردآوری شده است. عوامل اصلی دقت را می‌توان به شرح زیر مشخص کرد:

۱. سیستم مرجع زمینی؛
۲. دقت موقعیت؛
۳. دقت اطلاعات توصیفی.

منظور از سیستم تصویر نقشه چیست؟

زمین کروی است یا بهتر بگوییم اسفروئید (شبه‌کره)[۲] یا بیضوی است. یک نقشه باید تا آن‌جا که امکان دارد، به دقت، زمین سه‌بعدی را بر یک سطح مستوی دوبعدی نشان دهد.

در تولید نقشه، مهم آن است که به یک رابطهٔ شناخته‌شده و معلوم بین موقعیت‌های حقیقی روی زمین و نقاط متناظر آن‌ها روی نقشه دست یابیم. بنابراین، ساخت هر نقشه‌ای باید با یک سیستم تصویر نقشه شروع شود. ده‌ها سیستم تصویر نقشه وجود دارد که می‌توانید از میان آن‌ها یکی را انتخاب کنید.

به فرایند سیستماتیک و منظم انتقال نقاط از سطح کروی زمین به یک سطح مستوی (نقشه)، به صورتی که روابط مکانی حفظ شوند، سیستم تصویر نقشه می‌گویند. این فرایند با به‌کارگیری هندسه و روابط ریاضی تحقیق می‌یابد. از نظر هندسی، زمین اسفروئید (شبه‌کره) و اندکی فشرده است.

بنابر تعریف دیگری، **نمایش نصف‌النهارها و مدارهای زمین را به صورت شبکه‌ای به نام شبکهٔ مختصات جغرافیایی[3]، روی صفحه‌ای مستوی، «سیستم تصویر نقشه» می‌گویند.**

ویژگی‌های سیستم‌های تصویر نقشه چیست؟

زمین یک شبه‌کره است و بهترین نحوهٔ نمایش آن با یک کره است. این مدل مقیاس، تمامی خصوصیات مطلوب را که برای تولید نقشهٔ کامل و بی‌عیب لازم است، حفظ می‌کند؛ به‌طوری که مساحت، فاصله، جهت و شکل همگی به درستی نمایش داده می‌شوند. با وجود این، وقتی این شبه‌کره بر یک سطح مستوی به نمایش درمی‌آید، تمامی این ویژگی‌ها و مشخصه‌ها را نمی‌توان به طور همزمان حفظ کرد. درحقیقت، هر «سیستم تصویر» را می‌توان مصالحه و توافقی دانست که در آن، بعضی از خصوصیات و مشخصه‌ها درست و دقیق نشان داده می‌شوند و در عین حال، بعضی از مشخصه‌ها دچار انحراف و تغییر شکل می‌شوند. میزان و حدود حفظ و نگهداری این مشخصه‌ها و ویژگی‌ها، با وجود روش دیگری از طبقه‌بندی سیستم‌های تصویر را فراهم می‌آورد. مسائل مربوط به تغییر شکل (انحراف)، همهٔ سیستم‌های تصویر یکی از ویژگی مهم را که همان دقت وضعیت است، حفظ می‌کنند. با انتقال شبکه قائم‌الزاویه بر روی نقشه، رابطهٔ مکانی بین نقاط را روی هر دو سطح می‌توان پیدا کرد.

مقیاس

نگاه متفاوت به خصوصیات مهم سیستم تصویر با مقیاس آغاز می‌شود. نقشهٔ کوچک مقیاس، ناحیهٔ وسیعی را به نمایش می‌گذارد و نقشه بزرگ مقیاس، ناحیهٔ کوچکی از سطح کرهٔ زمین را نشان می‌دهد. چنانچه، ناحیه‌ای که می‌خواهیم از آن نقشه تهیه کنیم، کوچک باشد (یعنی فقط چند کیلومتر مربع وسعت داشته باشد)، وقوع خطای ناشی از سیستم تصویر در سطح نقشه، قابل اغماض خواهد بود. در ارتباط با تمامی سطح کرهٔ زمین، ناحیه‌ای کوچک که در یک قطعه نقشهٔ کوچک به نمایش درمی‌آید، از نظر ادراکی مسطح است. وقتی بخواهیم از ناحیه وسیعی نظیر گسترهٔ یک استان، کشور یا قاره، نقشه تهیه کنیم، ویژگی‌ها و خصوصیات زیر نقش موثری در انتخاب و گیزنش سیستم‌های تصویر ایفا می‌کنند:

سیستم تصویر هم‌پهنه[4]

سیستم تصویر نقشه‌ای را در صورتی **سیستم تصویر هم‌پهنه** یا هم‌مساحت می‌گویند که تمامی نواحی به نمایش درآمده در نقشه، به‌نحوی باشند که مساحت‌ها به نسبت مقیاس تصویر شوند. به‌عبارت دیگر، از نظر رابطه با نواحی زمین از نسبت یکسانی برخوردار باشند. ایجاد این نوع سیستم تصویر، به شدت زوایا و شکل‌ها را دستخوش انحراف و تغییر می‌کند. این تغییر شکل یا انحراف، با دور شدن فاصله از نقطهٔ مبدأ افزایش پیدا می‌کند.

سیستم تصویری که دارای فاصله‌های مساوی است[5]

این سیستم از یک مقیاس ثابت تبعیت می‌کند. یعنی اندازهٔ همان فاصله‌های روی زمین در مقیاسی، روی نقشه نشان داده می‌شوند؛ به‌نحوی که فقط از مرکز سیستم تصویر یا در امتداد دوایر عظیمه (نصف‌النهارات) که از این نقطه می‌گذرند، فاصله‌ها را صحیح نشان می‌دهد. برای مثال، یک سیستم تصویر هم‌مسافت که مرکز آن در تهران است، فقط از همان تهران فاصلهٔ صحیح و دقیق موقعیت دیگری را نشان می‌دهد. این مشخصه و ویژگی با تغییر شکل ناحیه و جهت آن، از دست می‌رود.

سیستم تصویر سمت‌الراس[6]

سیستم تصویری است که در آن، صفحه‌ای بر کرهٔ زمین مماس شده است و این سیستم قسمت‌های اطراف نقطهٔ تماس را روی صفحهٔ مزبور تصویر می‌کند. این سیستم درواقع حالت خاصی از سیستم تصویر مخروطی است که در آن، ارتفاع مخروط به‌تدریج کاهش یافته و به یک نقطه تماس مبدل شده است. درنتیجه، مخروط تصویر به یک صفحهٔ مستوی تغییر شکل داده است. در این سیستم تصویر، آزیموت یا سمت واقعی تمام نقاط تصویر شده، نسبت به نقطهٔ مرکزی که همان نقطهٔ تماس باشد، حفظ و این امتدادها در حقیقت به صورت خطوط شعاعی تصویر می‌شوند. با این حال در این سیستم، شکل‌ها، فاصله‌ها و نواحی به‌طور نامطلوبی تغییر شکل می‌دهند.

سیستم تصویر مشابه[7]

سیستمی که زوایای برابر دارد. در این سیستم، تصویر تمامی زوایا در هر نقطه‌ای حفظ می‌شود و مقیاس در هر نقطه‌ای و در هر سمتی یکی است. خطوط طول عرض، همدیگر را در زوایای قائمه قطع می‌کنند و شکل‌ها برای نواحی کوچک حفظ می‌شوند. به عبارت دیگر این سیستم، سیستم تصویری است که در آن، شکل مناطق کوچک روی نقشه با شکل آن‌ها در

طبیعت همانند است. طبیعتاً اندازه و وسعت مناطق وسیع، دستخوش تغییر شکل می‌شود.

خصوصیات مشترک در نوع تیپ سیستم تصویر

ناحیه	هم مساحت	هم فاصله	سمتی	متشابه
هم‌مساحت	-	no	yes	no
هم فاصله	no	-	yes	no
سمتی	yes	yes	-	yes
متشابه	no	no	yes	-

سیستم‌های تصویر نقشهٔ جهانی

هم‌اکنون سیستم‌های تصویر نقشهٔ زیادی به کار برده می‌شوند که هیچ‌یک از مشخصه‌های مطلوبی را که در سطرهای بالا به آن‌ها اشاره شده است، ندارند. بنابراین، فقط برای کاربردهای خاصی مناسب هستند. با وجود این، در صورتی که بتوان در کاربرد این‌گونه سیستم‌های تصویر، به مصالحه و توافقی دست یافت، بسیار سودمند نیز خواهند بود و می‌توان در آن‌ها تعدادی از مشخصه‌ها را به نحو منطقی حفظ کرد.

آن گروه از سیستم‌های تصویر نقشه که در نشان دادن جهان روی یک نقشه موفق هستند، در اکثر مواقع با مسائل جدی تغییر شکل روبه‌رو هستند. بنابراین از شکل‌های انقطاعی که سیستم تصویر را به تکه‌های سه‌گوش تقسیم می‌کنند، استفاده از این شیوه، بسیاری از توده‌های زمین (یا اقیانوس‌ها) می‌توانند نصف‌النهارات مرکزی خود را داشته باشند. به‌این‌ترتیب، در هر منطقه از سیستم، تصویر شکل‌های حقیقی به دست می‌آیند.

سیستم تصویر چگونه انتخاب می‌شود؟

گزینش بهترین سیستم تصویر نقشه، بستگی به هدف و منظوری دارد که برای آن، نقشه باید تهیه شود. برای دریانوردی، سمت‌های صحیح و دقیق در نقشه اهمیت زیادی دارند. برای نقشه‌های جاده‌ای، مسافت‌های دقیق در اولویت هستند و برای نقشه‌های موضوعی (نمایش داده‌ها و اطلاعات منطقهٔ مربوطه)، وسعت و شکل مناطق، اهمیت پیدا می‌کنند.

مسألهٔ دیگری که در انتخاب و گزینش بهترین سیستم تصویر مطرح است، وسعت و موقعیت منطقه‌ای است که باید از آن نقشه تهیه شود. هرچه منطقه بزرگ‌تر باشد، سطح منحنی زمین بیش‌تر خواهد بود و درنتیجه، ویژگی‌های مطلوب با تغییر شکل بیش‌تری روبه‌رو خواهند شد. از این رو بهتر است، برای مناطق واقع در عرض جغرافیایی پائین، از سیستم تصویر استوانه‌ای و برای مناطق واقع در عرض جغرافیایی میانه، از سیستم تصویر مخروطی و برای مناطق قطبی از سیستم تصویر صفحه‌ای استفاده شود.

راهنمای سیستم‌های تصویر در کارتوگرافی مدرن

سیستم‌های تصویر نقشه که تقریباً از دو هزار سال قبل با **مارینوس**[8] و **بطلمیوس**[9] آغاز شد، نقش بسیار برجسته‌ای در کارتوگرافی ایفا می‌کنند. در گذشته، صدها سیستم تصویر ارائه شد تا بتوان به بهترین روش، مسألهٔ نمایش زمین (شبه‌کره) را روی یک صفحهٔ مستوی (نقشه) حل کرد. در دوران اخیر، کتاب‌های زیادی درخصوص موضوع سیستم تصویر نقشه به رشتهٔ تحریر درآمده است.

متخصصان و دست‌اندرکاران کارتوگرافی مدرن، هم‌اکنون بیش از هر زمان دیگری به درک و شناخت کامل از سیستم‌های تصویری نیاز دارند. هم‌اکنون در عصر و زمانی زندگی می‌کنیم که بیش‌تر افراد از ابزار ایجاد نقشه برخوردارند. اگرچه در مواردی ارائه روش‌های ساخت نقشه ممکن است لازم به نظر نرسد، ولی مشخصه‌ها و کاربرد مناسب و روش‌های گوناگون سیستم‌های تصویری برای دانشجویان رشتهٔ مهندسی ژئوماتیک، مخصوصاً رشتهٔ تحصیلی کارتوگرافی اهمیت بسزایی دارد.

متأسفانه با وجود گسترش بی‌حدوحصر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و طراحی نقشه‌های موضوعی و پیشرفتهای بسیار ارزشمندی که در کارتوگرافی مدرن صورت پذیرفته است، تاکنون دانشمندان کارتوگراف از خصوصیات و کاربرد سیستم تصویر نقشه غفلت کرده‌اند.

زیرنویس

۱. در کارتوگرافی کلاسیک، مقیاس مورد نظر در تهیهٔ نقشه، دقت داده‌های جغرافیایی را مشخص می‌کند. براساس طبقه‌بندی مقیاس‌ها که از سوی «انجمن بین‌المللی کارتوگرافی» ارائه شده، نقشه‌های بزرگ مقیاس، بزرگ‌تر از ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های متوسط مقیاس، از ۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه‌های کوچک‌مقیاس، کوچک‌تر از ۱:۲۰۰۰۰۰ هستند. بر مبنای مقیاس و دقت هندسی عوارض و پدیده‌های جغرافیایی، دقت برداشت داده‌ها مشخص می‌شود و سایر مراحل ساخت و پرداخت مبتنی بر دقت برداشت انجام می‌یابد. به تعبیری مقیاس نقشه‌ها، دقت، چگونگی برداشت، ساخت و پرداخت نقشه را تعیین می‌نماید.

2. Spheroid

اطلاعات مفصل درخصوص شکل زمین را می‌توان از منابع گوناگونی

استخراج کرد:

- نقشه برداری و ژئودزی،
- مطالعات ثقل سنجی و تهیهٔ نقشه های گرانی سنجی،
- روش های نجومی،
- ردیابی ماهواره‌ای.

همهٔ روش های مزبور نشان می دهند که سطح زمین به اندازه‌ای نامنظم است که به ژئوئید معروف شده است. اختلاف عمده بین ژئوئید و یک سطح کروی کامل، فرورفتگی های ژئوئید در قطب های زمین است. ناهمواری های ظریف دیگری هم هستند که برای مطالعات ژئودزی و ژئوفیزیک اهمیت دارند. ولی می توان از آن ها در کارتوگرافی چشم پوشید. به دلیل فرورفتگی قطب ها، ژئوئید به سطح بیضوی نزدیک است و دارای شعاع استوایی (محور بزرگ) در حدود ۶۳۷۸ کیلومتر و شعاع قطبی (محور کوچک) در حدود ۶۳۵۷ کیلومتر است. این شکل را می توان با یک بیضی نشان داد.

فرورفتگی بیضوی (الیپسوئید) را می توان با رابطهٔ $f = \frac{a-b}{a}$ مشخص کرد که در این وضعیت برابر $f = ۱/۲۹۸$ است. الیپسوئید با چنین فشردگی کوچکی را می توان شبه کره نام گذاشت.

اجسام کروی و بیضوی تنها اشکال هندسی هستند که با شکل ژئوئید قرابت دارند. بیضوی بیش تر از کره به ژئوئید نزدیک است و عملیات ریاضی پیچیده‌ای دارد و کاربرد آن به عنوان شکل و هیأت مبنایی، مستلزم محاسبات دشوار و پیچیده است. هندسه کروی به مراتب آسان تر است، ولی کاربرد سطح کروی در محاسبات ژئوئید از دقت کم تری برخوردار است. چنانچه دو نقطه، یکی در سطح کروی و دیگری در سطح بیضوی باشد، می توان طول قوس های AB و A´B´ و نیز جهت هریک از این قوس ها را محاسبه کرد. بین دو طول و جهت ها اختلاف کمی وجود دارد. اگر این اختلاف را بتوان روی نقشه‌ای آشکار کرد و اگر B و B´ بیش از ۰/۲ میلی متر از هم فاصله داشته باشند (به فرض اینکه A و A´ در وضعیت ثابت باشند). استفاده از فرضیه بیضوی (اسفروئید) برای تهیهٔ نقشه های توپوگرافی بزرگ مقیاس کاربرد دارد. از طرفی نیاز به کاربرد فرضیه بیضوی (اسفروئید) در مقیاس های بزرگ، بیش تر تقویت می شود؛ زیرا این گونه نقشه های بزرگ مقیاس، مبتنی بر نقشه برداری های اولیه هستند.

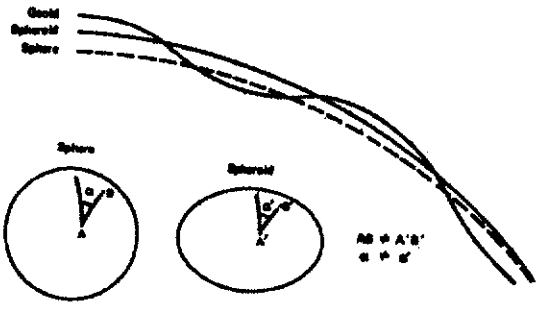
نقشه برداری ها در واحدهای طبیعی خود در زمین، یعنی مقیاس ۱/۱ تعدیل و محاسبه می شوند. بدین خاطر لازم است که نقاط را در آن گونه بیضوی (اسفروئید) تعیین کنیم که برای کاربرد در کشور خاصی پذیرفته شده است.

در نقشه های کوچک مقیاس، اختلاف بین کروی و بیضوی (اسفروئید) آن قدر کوچک است که می توان آن ها را نادیده گرفت. بنابراین کافی است که برای تهیهٔ نقشه های موضوعی و اطلس، زمین را کروی کامل به حساب آورد.

۳. شبکهٔ جغرافیایی، شبکه‌ای از خطوط فرضی است که روی ارکان نقشه و در مواردی با خطوط محدود نقشه‌ای نشان داده می شوند. گروهی از این خطوط، مدارات (عرضی) و گروه دیگری، نصف النهارات (طول) را نشان می دهند.

اساس شبکهٔ جغرافیایی را یک سیستم تصویر تشکیل می دهد و بر طبق انتخاب سیستم تصویر:

- خطوط آن ممکن است مستقیم یا منحنی باشند.
- خطوط آن می توانند موازی یا با همدیگر در نقطه‌ای تلاقی کنند.
- جداسازی و تفکیک خطوط می تواند ثابت یا از جایی به جایی دیگر متفاوت باشد.
- زاویه‌ای که از تقاطع مدار و نصف النهار به وجود می آید، می تواند هر زاویه‌ای باشد.



4. Equal-area
5. Equidistant
6. Azimutal یا Zenithal
7. Conformal
8. Marinus
9. Batlamus