www.a-pdf.com ©®

شبیه سازی سامانه های پیچیده در GIS

www.ketab.ir

ترجمه:

ابوالقاسم صادقی نیارکی

مریم برزگر

www.a-pdf.com ©®

شماره ۴۵۸

سرشناسه: لانگلواپاتریس Langlois,Patrice,
عنوان و نام پدیدآور: شبیه‌سازی سامانه‌های پیچیده GIS/ مولف پاتریس لانگولوآ ؛ ترجمه ابوالقاسم صادقی نیارکی، مریم برزگر.
مشخّصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدّین طوسی، انتشارات،۱۳۹۷.
مشخّصات ظاهری: [ز]، ۲۴۱ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۴۵۸.
شابک: 978-622-6029-17-9
وضعیّت فهرست نویسی: فیپا
یاداشت: عنوان اصلی Simulation of complex systems in GIS theory and applications, 2011
یادداشت کتابنامه: ص. ۲۲۶.
موضوع: سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی
موضوع: جغرافیا -- شبیه‌سازی
شناسه افزوده: صادقی نیارکی، ابوالقاسم،۱۳۵۵ - ، مترجم
شناسه افزوده: برزگر، مریم، ۱۳۶۰، مترجم
رده بندی کنگره: ۱۳۹۷ ۳ش ص G۱۰/۲۱
رده بندی دیویی: ۹۱۰/۲۸۵
شماره کتابشناسی ملّی: ۵۴۱۲۱۴۲

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی press.kntu.ac.ir

عنوان: شبیه‌سازی سامانه‌های پیچیده GIS
مؤلّف: پاتریس لانگولوآ
مترجمان: دکتر ابوالقاسم صادقی نیارکی و مهندس مریم برزگر
نوبت چاپ: اوّل
تاریخ انتشار: آذر ۱۳۹۷
شمارگان: ۲۰۰ جلد
چاپ: پدیدرنگ
صحّافی: گرنامی
قیمت: ۳۲۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی- شماره ۴۷۰- انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدّین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲
میدان ونک - خیابان ولی‌عصر(عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶- مرکز پخش و فروش انتشارات
تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

پیشگفتار

حمد و سپاس خداوندی را سزد که پروردگار جهانیان است و درود و سلام بر پیامبرگرامی اسلام (ص) و آل او که چراغ راه سعادت و هدایت بشریت‌اند. سوگند به قلم و آنچه می نویسند.

ای که با نامت جهان آغاز شد — دفتر ما هم به نامت باز شد
دفتری کز نام تو زیور گرفت — کار آن از چرخ بالاتر گرفت

کتاب حاضر ترجمهٔ اثری با عنوان **شبیه‌سازی سامانه‌های پیچیده در GIS**[1] نوشته یکی از صاحب نظران به نام این رشته، پاتریس لانگلوآ است. جغرافیا به عنوان هستهٔ پیچیدگی‌های علوم اجتماعی و انسانی شناخته شده است. در ابتدا پیچیدگی جغرافیایی از طریق استفاده از اتومانای سلولی مطرح شد و پس از آن سامانه‌های چندعاملی به لطف ترکیب هوش مصنوعی، برنامه‌نویسی شیءگرا و اطّلاعات توزیع شده‌ای که در زمینه‌های متعدّدی از قبیل فیزیک، زیست شناسی و علوم رایانه‌ای توسعه داده شده‌اند، مورد کردند. بنابراین کارهای متعدّدی در زمینه استفاده از این محاسبات و ابزارها در جغرافیا انجام شده است.

در این کتاب حوزهٔ مدل‌سازی دینامیک مکانی مورد بررسی قرار گرفته است و از زبان ریاضی برای تعریف ماهیّت هستی‌شناسی و نمایش آن استفاده شده است. این اثر شامل ۳ بخش و ۱۰ فصل است که بخش اوّل ساختار فضای جغرافیایی و مفاهیم اوّلیه مورد نیاز برای مدل‌سازی و فرمول‌سازی ریاضی این ساختار را شرح می‌دهد. در بخش دوم مدل‌سازی با استفاده از ماشین سلولی (CA) شرح داده می‌شود و مثال‌هایی از مدل‌های ماشین سلولی جغرافیایی برای فهم بیشتر مفهوم CA ارائه می‌شوند. در نهایت، در بخش سوم مدل کلّی از سامانه‌های عامل جغرافیایی و هستی‌شناسی مربوط به آن و شیوهٔ فرمول‌بندی مفاهیم آن ارائه می‌گردد.

مطالعهٔ این کتاب به دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی (کارشناسی ارشد و دکتری) و نیز دانشجویان پیشرفته دوره‌های کارشناسی رشته‌های مهندسی مانند رشته‌های مختلف نقشه‌برداری، رایانه و ... و هم‌چنین پژوهشگران جغرافیایی توصیه می‌شود. مترجمان کتاب، تمامی توان و کوشش خود را برای حفظ کامل امانت‌داری در ترجمهٔ این اثر از انگلیسی به فارسی به کار بسته‌اند. مطالعهٔ این کتاب و استفاده از محتوای پربار آن که نتیجهٔ کوشش و تجارب نویسندهٔ اصلی این اثر است، برای دانشجویان، پژوهشگران و استادان محترم سودمند خواهد بود. در ضمن هرگونه رهنمود اصلاحی از سوی دانشجویان و همکاران دانشمند را برای بهتر کردن این اثر در چاپ‌های بعدی با سپاس فراوان و با دیدهٔ منّت می‌پذیریم.

---

[1] Simulation of Complex Systems in GIS, Author: Patrice Langlois, Publisher: Wiley, 2011, ISBN: 978-1-84821-223-7.

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل ۱- مفاهیم ساختار و سامانه ۱۳

۱-۱ مفهوم ساختار ۱۴

۱-۱-۱ در ریاضیّات و فیزیک ۱۵

۱-۱-۲ در دانش فنّاوری رایانه ۱۶

۱-۱-۳ در علوم زندگی، اجتماعی و انسانی ۱۸

۱-۲ الگوی سامانه‌ای ۱۹

۱-۲-۱ مثلث سامانه‌ای ۲۰

۱-۲-۲ کل بیشتر از جمع قسمت‌های آن است ۲۲

۱-۳ مفهوم سازماندهی ۲۲

۱-۳-۱ ساختار و سازماندهی ۲۴

۱-۳-۲ سازماندهی‌های متوالی ۲۵

۱-۳-۳ سازماندهی کلاس‌ها و تقسیم‌بندی‌ها ۲۶

۱-۳-۴ سازماندهی در درختان ۲۷

۱-۳-۵ سازماندهی شبکه ۲۹

۱-۳-۶ سازماندهی‌های سلسله مراتبی ۳۱

۱-۳-۷ استفاده از نظریه گراف برای سازماندهی‌های پیچیده ۳۳

۱-۳-۸ پیچیدگی یک سازماندهی، از قطعیت تا آشفتگی ۳۵

فصل ۲- فضا و هندسه ۳۹

۲-۱ نظریه‌های مختلف فضا ۴۰

۲-۱-۱ مدل‌های اقلیدسی ۴۲

۲-۱-۲ فضاهای سنجه‌ای ۴۳

۲-۱-۳ فضاهای دارای نرم ۴۵

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

۲-۱-۴ فضای شبه اقلیدسی ۴۷
۲-۱-۵ فضاهای ریمان ۴۹
۲-۱-۶ فضاهای مکان‌شناختی ۵۲
۲-۱-۷ برابری در یک فضا ۵۴
۲-۲ هندسه و ساختار داده آن ۵۵
۲-۲-۱ ساختار صفحات ۵۶
۲-۲-۲ مدل ارتفاعی ($2D^{1/2}$) ۶۱
۲-۲-۳ فضای نااقلیدسی، واریخت و میدان گرانش ۶۸
۲-۲-۴ [illegible]شناسی‌های ممکن یک فضای متناهی بدون مرز ۷۰
۲-۳ هندسهٔ شسته و رفته» و هندسهٔ «فازی» ۷۳

فصل ۳- ساختارهای مکان‌شناختی: چگونه اشیاء در سامانه های فضایی سازماندهی می‌شوند؟ ۸۱
۳-۱ مکان‌شناسی ۸۲
۳-۲ سنجه‌ها و مکان‌شناسی‌ها ۸۲
۳-۳ مکان شناسی محاسبه شده، مکان شناسی ساختاری ۸۶
۳-۳-۱ شبکهٔ مربّعی ۸۶
۳-۳-۲ شبکهٔ شش ضلعی ۸۷
۳-۳-۳ ساختار همسایگی برای یک شبکهٔ نامنظّم ۸۸
۳-۳-۴ عملگر همسایگی برای شبکه نامنظّم ۹۰
۳-۳-۵ مدل «برداری- مکانشناختی» از یک شبکه با نواحی تصادفی ۹۰
۳-۳-۶ مدل مکان‌شناختی شبکه‌ای ۹۱
۳-۴ سلسله مراتب ۹۲

فصل ۴- اشیاء و مادّهٔ جغرافیایی ۹۳
۴-۱ مادّهٔ جغرافیایی ۹۴

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

۴-۱-۱ میدان مادّی ۹۴
۴-۱-۲ فرضیّات تمایز فضایی و زمانی مادّه ۹۵
۴-۲ مفهوم مشاهده ۷۰
۴-۳ شیء جغرافیایی: تعاریف و قواعد ۹۹
۴-۳-۱ شناسایی ۱۰۲
۴-۳-۲ پایهٔ فضایی یک شیء ۱۰۳
۴-۳-۳ محتوای مادّی یک شیء ۱۰۳
۴-۳-۴ شیء جغرافیایی مادّی و لایه‌های اشیاء ۱۰۳
۴-۳-۵ قاعدهٔ جداسازی ۱۰۴
۴-۳-۶ قاعدهٔ مخلوط کردن ۱۰۴
۴-۳-۷ قاعده بود ناپذیری ۱۰۵
۴-۳-۸ ابعاد یک شی ۱۰۶
۴-۳-۹ اصل تعبیه ۱۰۷
۴-۳-۱۰ شیء جغرافیایی مورد ارزیابی ۱۰۸
۴-۳-۱۱ اشکال توصیفی اشیاء ۱۰۹

فصل ۵- زمان و دانش پویا ۱۱۳

۵-۱ زمان ۱۱۴
۵-۲ زمان‌مندی ۱۱۶
۵-۲-۱ بازهٔ زندگی T ۱۱۷
۵-۲-۲ کمینه گام زمانی dt ۱۱۷
۵-۲-۳ پایهٔ زمانی B_T ۱۱۸
۵-۲-۴ پشتیبان فعالیّت یک پدیدهٔ σ ۱۲۰
۵-۲-۵ پدیده‌هایی با پشتیبان گسسته (یا ایزوله) ۱۲۰
۵-۲-۶ پدیده‌هایی با پشتیبان پیوسته یا تکه‌ای پیوسته ۱۲۱
۵-۳ رویدادها، فرآیندها ۱۲۱
۵-۳-۱ گسسته‌سازی ریخت‌شناسی یک پدیده ۱۲۵

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

۵-۳-۲ مثال توپ‌های بیلیارد ۹۰
۵-۳-۳ زمان‌مندی یک فرآیند فضایی ۱۳۰
۵-۴ تجزیه یک فرآیند پیچیده ۱۳۲
۵-۵ یک انتخاب شناختی: وابستگی متقابل بین سطوح پیچیدگی یک پدیده ۱۳۳

فصل ۶- تعامل فضایی ۱۳۷

۶-۱ ارائه مفهوم ۱۳۸
۶-۲ تعریف تعامل ماکروسکوپی ۱۴۲
۶-۳ چهار تعامل (عمل) ابتدایی ۱۴۴
۶-۴ تعامل ماکروسکوپی مانند یک گراف چندگانه ۱۴۵
۶-۵ ترکیب تعاملات متوالی ۱۴۷
۶-۶ پیکربندی‌ها و خط سیرهای یک شبیه‌سازی رسته هستند ۱۴۸
۶-۷ نمایش ماتریسی سامانه واسطه ۱۵۰
۶-۸ مثال‌های تعامل ۱۵۱
۶-۸-۱ جریان و حمل و نقل ۱۵۱
۶-۸-۲ حرکت یک شیء در فضا ۱۵۱
۶-۸-۳ برخورد بین دو شیء ۱۵۲
۶-۸-۴ انباشتگی از طریق تلاقی ۱۵۲
۶-۸-۵ توزیع گریز از مرکز ۱۵۳
۶-۸-۶ برابری از طریق ظروف ارتباطی ۱۵۴
۶-۹ اوّلین تعریف مفهوم سامانهٔ فضایی ۱۵۴

فصل ۷- مفهوم و فرم‌سازی یک CA ۱۶۱

۷-۱ الگوی اتوماتای سلولی ۱۶۲
۷-۲ مفهوم اتوماتای حالت- محدود ۱۶۴

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

۷-۳ اتوماتای میلی و مور ۱۶۶
۷-۴ یک مثال ساده از CA: بازی زندگی ۱۶۷
۷-۵ تجزیه‌های مختلفی از توابع یک سلول ۱۶۸
۷-۶ اتوماتای حدّ آستانه، ماشین پنجره ۱۷۰
۷-۷ سطح میکرو و اتوماتای استوکاستیک ۱۷۱
۷-۸ سطح ماکرو و اتوماتای قطعی ۱۷۱
۷-۹ تعریف کلّی از یک اتوماتای سلولی جغرافیایی ۱۷۲
۷-۱۰ رژیم‌های برنامه‌ریزی مختلفی از وظایف داخلی سامانه ۱۷۴
۷-۱۱ ارگان‌ها، کانال‌ها، کپسوله‌سازی ۱۷۷
۷-۱۲ تعامل ۱۷۹
۷-۱۳ فضای مرتبط با یک اتوماتای سلولی جغرافیایی ۱۸۳
۷-۱۴ مکان‌شناسی و عناصر همسایگی GCA ۱۸۳
۷-۱۵ مفهوم لایه سلولی ۱۸۳
۷-۱۶ مدل‌های GCA سلسله‌مراتبی ۱۸۴
۷-۱۶-۱ سلسله‌مراتب فضایی ۱۸۴
۷-۱۶-۲ سلسله‌مراتب زمانی ۱۸۴
۷-۱۶-۳ سلسله‌مراتب کنترلی ۱۸۵

فصل ۸- مثال‌هایی از مدل‌های اتوماتای سلولی جغرافیایی ۱۸۷

۸-۱ SpaCelle ، اتوماتای سلولی چند لایه‌ای ۱۸۸
۸-۱-۱ توضیحات ۱۸۸
۸-۱-۲ انتخاب سنجه‌ها و مفهوم همسایگی در SpaCelle ۱۹۰
۸-۱-۳ ساختارهای جهانی ۱۹۰
۸-۱-۴ تعریف رفتار سلولی با SpaCelle ۱۹۱
۸-۱-۵ ساختار کلّی یک مدل ۱۹۲
۸-۱-۶ رفتار سلولی، تولد، زندگی و مرگ، ضابطه مرتبط‌ترین قانون ۱۹۲

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

۸-۱-۷ عملکرد تصادفی یا قطعی ۱۹۳
۸-۱-۸ دستور زبان قانون ۱۹۴
۸-۱-۹ محاسبه شایستگی یک قانون گذر ۱۹۵
۸-۱-۱۰ ارزیابی فازی یا دقیق یک همسایگی ۱۹۵
۸-۱-۱۱ پایگاه قاعده ۱۹۶
۸-۱-۱۲ فرامدل SpaCelle ۱۹۷
۸-۱-۱۳ خروجی‌ها ۱۹۷
۸-۲ مثال: مدل تکاملی از تراکم روئن ۱۹۸
۸-۲-۱ [illegible] شه به سمت اتوماتای سلولی ۱۹۸
۸-۲-۲ پایگاه قاعده ۱۹۹
۸-۲-۳ ارزیابی مشاهده شده در فضای روئن بین ۱۹۵۰ و ۱۹۹۴ م ۲۰۰
۸-۲-۴ ارزیابی [illegible] SpaCelle ۲۰۴
۸-۳ RuiCells ۲۰۶
۸-۳-۱ ارائه مدل ۲۰۷
۸-۳-۲ شناسایی تصرّف خاک و توسعه سطح ۲۱۱
۸-۳-۳ عملکرد ۲۱۴
۸-۳-۴ خروجی‌ها ۲۲۰
۸-۴ GeoCells ۲۲۵
۸-۴-۱ مدل GeoCells عمومی ۲۲۶
۸-۴-۲ مدل GeoCells-Europe ۲۲۹
۸-۴-۳ GeoCells-Votes ۲۴۱

فصل ۹- رویکرد نظری یک سامانه عامل شبیه‌سازی یکپارچه ۲۵۷

۹-۱ برای یک سامانه عامل یکپارچه شبیه‌سازی ۲۵۸
۹-۲ خصوصیات کلّی ۲۵۹

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

فصل ۱۰- هستی شناسی رسمی سامانه‌های عامل جغرافیایی ۲۶۱
۱۰-۱ چهارچوب مفهومی ۲۶۲
۱۰-۲ مفهوم یک سامانه عامل جغرافیایی ۲۶۴
۱۰-۳ کلّی‌سازی مفهوم فرآیند ۲۶۶
۱۰-۴ مفهوم یک عامل جغرافیایی ۲۶۷
۱۰-۴-۱ زمانی که شیء جغرافیایی یک عامل می‌شود ۲۶۷
۱۰-۴-۲ پویایی عامل ۲۶۸
۱۰-۴-۳ دوگانه عامل-سازماندهی ۲۶۹
۱۰-۴-۴ فرم‌سازی عامل جغرافیایی ۲۷۱
۱۰-۵ فرم‌سازی مفهوم سازماندهی ۲۷۶
۱۰-۵-۱ بررسی چند مفهوم سازماندهی ۲۷۶
۱۰-۵-۲ سازماندهی اجتماعی، سازماندهی فضایی ۲۷۸
۱۰-۵-۳ فرم‌سازی ۲۸۰
۱۰-۵-۴ دو مثال از سازماندهی ۲۸۱
۱۰-۵-۵ سازماندهی فضایی از پیش تعریف شده ۲۸۲
۱۰-۵-۶ سازماندهی اجتماعی از پیش تعریف شده ۲۸۶
۱۰-۶ فرم‌سازی رفتار ۲۸۷
۱۰-۶-۱ ارزیابی ۲۸۸
۱۰-۶-۲ تصمیم‌گیری ۲۸۹
۱۰-۶-۳ عمل ۲۹۰
۱۰-۶-۴ فرم‌سازی یک رفتار پایه ۲۹۰
۱۰-۷ فرم‌سازی یک مدل AOC کلّی ۲۹۸
۱۰-۸ مثال مدل شلینگ ۲۹۹

علائم اختصاری **۳۰۹**

واژه‌نامهٔ تخصّصی **۳۱۱**

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

فهرست منابع ۳۱۳

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

مقدمهٔ کلی

آندره دافین[1] در [DAU 03]، جغرافیا را به عنوان هستهٔ پیچیدگی‌های علوم اجتماعی و انسانی معرّفی کرده است. تابلر[2] و هاگراستند[3] ابزار اطّلاعاتی که از طریق استفاده از اتوماتای سلولی اجازه ورود به الگوی پیچیدگی‌های جغرافیایی را می‌دهند، مطرح کردند. پس از ان سامانه‌های چندعاملی در اواخر دههٔ ۱۹۸۰ میلادی به لطف ترکیب هوش مصنوعی، برنامه‌نویسی شیءگرا و اطّلاعات توزیع-شده‌ای که در زمینه‌های گوناگونی از قبیل فیزیک، زیست‌شناسی و علوم رایانه‌ای توسعه داده شده‌اند، ظهور کردند [WEI 89]، [BRI 01]. بنابراین، کارهای متعدّدی در زمینهٔ استفاده از این محاسبات و ابزارهای نظری در جغرافیا انجام شده است. این مطالعات هم‌اکنون نیز توسّط تیم‌های مختلفی از قبیل گروه شبیه‌سازی جغرافیایی، RIKS، CASA، شبیه‌سازی شهری و پلی‌تکنیک میلان (IMBOGOTA) و مطالعات شبکه شهری توسّط دانشگاه‌های پاریس و استراسبورگ در فرانسه، ادامه دارد.

جغرافیا از پایه با فضا عجین شده است. یک نقشهٔ جغرافیایی تعبیر صریحی از این موضوع است. اگر ما به فرآیندهای پیچیدهٔ علاقه‌مندیم، باید سطوح سازمان‌دهی شدهٔ پیوسته‌ای را که برای فهم پدیده مورد نظر ما ضروری‌اند، در نظر بگیریم. مدلسازی، به ابعاد بنیادی و زمانی تعبیر دینامیک اضافه می‌شود. نمایش سطوح چندگانه در فضا ما را وادار به صحبت کردن درمورد سطوح موقتی مختلفی از فرآیندهای در حال اجرا می‌کند.

این کار، پژوهشی برای کمک به چالش پیچیدگی جغرافیایی است. پیچیدگی به‌عنوان نقطه عطف علوم انسانی و فیزیکی مشخص می‌شود و توسّط موقعیّت واسطه‌ای از هم‌پوشانی سطوح حقیقی مکانی و زمانی و موقعیّت کلیدی که در رتبه‌بندی پیچیدگی سازمان‌یافتهٔ موقعیّت انسان را در حوزه‌های زنده و مادّی تعیین می‌کند، بیان می‌شود.

سال‌های زیادی برای انجام دادن این کار در حوزهٔ مدل‌سازی جغرافیایی طول می‌کشد. مدل‌سازی محصولی از بازتاب و اجرا در حوزه‌های کارتوگرافی، آنالیزهای مکانی و زوماتیک است. این مطالعه از ابتدای دههٔ ۱۹۸۰ میلادی، همزمان با ورود ریزرایانه‌ها آغاز شد. این دهه شاهد ساخت ابزار و مفاهیمی از نمایش استوار و کارآمد فضا بود. در اواخر ۱۹۹۰ و اوایل قرن ۲۱ میلادی، ارتقاء به سطح بعدی ضروری شد: شبیه سازی مکانی پویا. این کار با استفاده از سطح قدرتمندی که توسّط رایانه‌ها به‌دست آمد و هم‌چنین با توسعه نرم‌افزارهای کارتوگرافی و آنالیزهای مکانی از طریق توسعه نظریّه‌های پیچیدگی و ابزارهای شبیه‌سازی مربوط به آنها و توسعه در حوزه‌های دیگری مانند فیزیک، انجام شد.

---

[1] Andre Dauphine
[2] Tobler
[3] Hagerstand

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

هدف ما از این کار به اشتراک گذاشتن دانش خود در حوزهٔ مدل‌سازی دینامیک‌های مکانی، بر پایهٔ رویکردی سیستماتیک، فرد محور و توزیعی است. این کار هم‌چنین ادامه همکاری‌های گوناگون مرتبط با این موضوع در کارهایی از قبیل [GUE 08] و [AMB 06] است. در این جا ما آنالیزهای شخصی بیشتری را از طریق بازتاب نظریه‌های‌مان و با استفاده از تعداد کمی از مفاهیمی که توسط گروه تحقیقاتی ما توسعه داده شده‌اند، ارائه می‌دهیم که این مفاهیم از محصولات بین‌المللی و ملّی مشابه این کتاب، استخراج نشده‌اند. ما می‌خواهیم که این کار ابزاری آموزشی برای دانشجویان، پژوهشگران جغرافیایی، توسعه‌دهندگان و دانشمندان علوم رایانه‌ای که مایل به یادگیری بیشتر در مورد مدل‌سازی جغرافیایی هستند، باشد.

جامعهٔ ریاضی توسعه‌های خاص، نباید خوانندگان معمولی را که فرمول‌ها و نمادهای ریاضی برای درک کلّی آنها ضروری نیست و ممکن است در طول خواندن کتاب توسط آنها نادیده گرفته شوند را دور کند. این توسعه‌ها به طور کلّی با متونی که آنها را با اصطلاحات امروزی شرح می‌دهند، مربوط می‌شوند. بنابراین نحوهٔ بیان باید به گونه‌ای باشد که خواننده را به یادگیری در مورد این حوزه و رویارویی با این مفاهیم قادر سازد. این مفاهیم ممکن است بارها ناخوشایند به نظر برسند اما اگر خواهان آزمون‌ها و برنامه‌های عملی این روش‌ها و مدل‌ها هستیم، باید بر این تصوّر غلبه کنیم. با این وجود، قلب این فرم‌سازی‌ها مفاهیم ساده‌ای دارند و در این کتاب ما تلاشی مداوم برای همراه کردن این فرم‌سازی‌ها با یک توضیح ساده و توضیح نمادها و علائم در متن داشته‌ایم.

برای شروع کار با مفاهیم کلّی ساختار سازماندهی و سامانه، ابتدا باید مفهوم بنیادی فضا را درک کنیم. اهمیّت این مفهوم در فرم‌سازی‌های مختلفی که ما را قادر به تعریف مفاهیم مختلف هندسی، مکان‌شناسی و متریک در فضا می‌کنند، مشهود است. پس ما از مفاهیم ماده و شیء برای معرّفی زمان بهره می‌گیریم. این کار به ما اجازه می‌دهد تا به مفاهیم و آیده‌ها و تعاملاتی که اساس مدل‌سازی جغرافیایی پویا هستند، نزدیک شویم. پس از این بخش، مبانی مدل‌سازی فضای جغرافیایی ارائه می‌شوند و ما با ابزارهای محاسبه مدل‌سازی پویا که اتوماتای جغرافیایی سلولی (GCA) هستند و ما را قادر می‌سازند تا یک مدل کلّی از GCA داشته باشیم، کار خواهیم کرد. سپس آن را به ساخت مدل یک سامانه کلّی از عامل‌های جغرافیایی (SGA) که بر پایه یک هستی‌شناسی رسمی براساس سه‌گانه عامل سازماندهی رفتار ساخته شده است و در آن یک شیء جغرافیایی به صورت یک ماهیت دوگانه بین فرد و گروه ظاهر می‌شود، تعمیم می‌دهیم. این هستی‌شناسی رسمی به‌صورت ریاضی فرم‌سازی می‌شود و به ما اجازه می‌دهد تا یک ساختار کاملاً مستقل از تمامی محدودیّت‌های فنّاوری را شرح دهیم و یک چهارچوب نظری دقیق فراهم می‌کند. بنابراین، ما می‌توانیم به اشیاء جغرافیایی براساس یک رویکرد واقع بینانه‌تر فکر کنیم؛ حتّی اگر این رویکرد به‌صورت ساده شده باشد. فرم‌سازی ریاضیاتی

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

ما را قادر می‌سازد بدون این‌که درگیر محدودیت‌های یک ابزار که همه چیز باید صریح، قابل شمارش و پایان‌پذیر باشد شویم، به یک زنجیره یا بی‌نهایت فکر کنیم. ما به یک چهارچوب نظری و قابل انعطاف برای فرم‌سازی این ساختار، نیاز داریم.

ابتدا نظریهٔ مجموعه و مبانی منطقی از پیش‌بینی‌ها، یک مفهوم اوّلیه را تشکیل می‌دهند که برای همه فرم‌سازی‌های ریاضیاتی شناخته شده است. زمان زیادی از معرّفی نظریهٔ مجموعه‌ها توسّط کانتور[2] در اواخر قرن نوزدهم می‌گذرد و در آن زمان باطل‌نماهای اساسی، ساختار اصولی آن را متزلزل ساخت. نظریهٔ مجموعه در حالی به بلوغ رسید که دارای محدودیّت‌هایی بود؛ برای مثال، دانستن این که چگونه بین آن‌چه که یک مجموعه است و آن‌چه که نیست، تمایز قائل شویم (که ما آن را «خانواده» یا «مجموعه» می‌نامیم). تعریف رسمی از مفهوم «مجموعه» وجود ندارد. مجموعه، تعریف اوّلیه نظریّه است. با این وجود خانواده‌ای از همه مجموعه‌ها خود به تنهایی یک مجموعه نیست و به عنوان یک مجموعه باید توسّط فهرستی کامل و ضروری از اجزایش (به همین دلیل «به تفصیل» تعریف می‌شود) یا توسّط یک ویژگی خاص از عناصرش (به همین دلیل «به‌طور مفهومی» تعریف می‌شود)، به صورت دقیق تعریف شود. بنابراین یک قانون ضروری دیگر وجود دارد و نظریّه با خودش در تضاد نیست. این قانون باید براساس روابط متعلّق تعریف شود: یک مجموعه نمی‌تواند متعلّق به خودش باشد. با این حال، مفهوم زیر مجموعه به رابطهٔ شمول که یک رابطه ترتیب است که بر روی مجموعه $P(E)$ که بخشی از مجموعه E است تعریف شده، جواب بخشید.

رابطه شمول انعکاسی است و مخالف تعلّق داشتن که غیر انعکاسی است، می‌باشد. بنابراین، در نظریّه مجموعه، یک مجموعه شامل خودش است اما متعلّق به خودش نیست. با چنین احتیاط‌هایی، باطل‌نما راسل[3] دیگر وجود نخواهد داشت. در واقع، این باطل‌نما برای یک مجموعه خاص است که توسّط تمامی مجموعه‌هایی که شامل خودشان نیستند، تشکیل شده است. این باطل‌نما نتیجه این حقیقت است که این مجموعه می‌تواند شامل خودش باشد یا نباشد. این توسعه‌ها با دیگر مفاهیم اصل موضوعی زرینلو- فرانکل[4] مرتبط است. این اصل بهای زیادی به این نظریه می‌دهد. با وجود این‌که

---

[1] بر خلاف ریاضیّات که بر پایهٔ یک ساختار نحوی ضمنی (هنگامی که یک تعریف بیان می‌شود در قسمت‌های بعدی معلوم در نظر گرفته می‌شود) و بر اساس اجزای ضمنی است. برای مثال، ما تنها اعداد حقیقی را که فرموله می‌شوند یا صریح هستند می‌شناسیم، امّا بی‌نهایتی از اعداد نیز وجود دارد که هرگز صریح نخواهند بود. اشیاء ریاضی زیادی به صورت ضمنی توسّط قضایای وجود، دارای حدود معیّن هستند امّا ما نمی‌دانیم یا نمی‌توانیم همیشه این حدود را تعیین کنیم.

[2] Cantor

[3] Russell

[4] Zerinelo- Fraenkel

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

این اصل تنها مفهوم اساسی نظریّه مجموعه نیست امّا امروزه بسیار استفاده می‌شود. این اصل در نهایت با اصول موضوعی مکمّل دیگری از قبیل، اصل انتخاب و فرضیّه پیوستار همراه می‌شود.

نظریّه‌های مجموعه دیگری نیز وجود دارند مانند، نظریّهٔ انواع (وایت هد[۱]، راسل[۲])، و نظریّهٔ کلاس‌ها (وان نیومن[۳]، گادل[۴]). با وجود تفاوت‌های آنها، این نظریّه‌ها امروزه ترجمه‌هایی همگرا از واقعیّت ریاضی مشابهی هستند. فرضیّه‌های اصل‌گذاری متعدّدی در جهات مختلفی توسعه داده شده‌اند و برخی از آنها فرم‌سازی شده‌اند. مثالی از این مورد علم‌الاجزاء[۵] است که یک نظریّه منطقی فرم‌سازی شده توسّط منطق‌دان استنیسلو لزیوسکی[۶] (1886-1939) است. این نظریّه برای کار ما یک فرم پیشرفته‌تر و سودمندتر نسبت به نظریّه مجموعه «استاندارد» محسوب نمی‌شود. برای مثال، یکی از مفاهیم اصلی الگوی پیچیدگی این است که کل مجموعه بیشتر از جمع اعضای آن است. در نظریّه مجموعه همانند مرئولوژی، این ادعا نادرست است. تعریف یک سامانه پیچیده نیازمند مفهومی غنی‌تر نسبت به یک مجموعه ساده که از عناصر (و بخش‌ها) تشکیل شده است، می‌باشد.

ما قصد داریم که این غنی سازی را در صورتی که مغایر با استفاده از نظریّهٔ مجموعه نباشد، فرم‌سازی کنیم. این ساختار هستی‌شناسی محدود به استفاده‌ای خاص از نظریّه مجموعه نمی‌شود. تمامی ساختار جبر، هندسه، زبان‌شناسی و آنالیزی که انسجام و زبان آنها وابسته به نظریّه مجموعه است، در سطوح زیادی برای ما سودمند خواهند بود. با این وجود، ما نمی‌خواهیم یک نظریّه ریاضی فرم‌سازی شده توسّط یک سری از فضایا و اثبات‌ها را شرح دهیم. ما همچنین نمی‌خواهیم اصول جدیدی را شرح دهیم. ما تنها از زبان ریاضی برای تعریف ماهیّت هستی‌شناسی و نمایش انسجام آن استفاده می‌کنیم. بنابراین، سطح دانش ریاضی استفاده شده ابتدایی باقی خواهد ماند.

به منظور تعریف این مرحله از ساخت هستی‌شناسی در حوزهٔ جغرافیایی، ما از نیستی که با موضعی‌سازی که توسّط آنچه در جهان باقی مانده است تشکیل شده است، آغاز می‌کنیم و تنها موضعی‌سازی و مختصات را نگه می‌داریم. این نیستی توسّط فضای[۷] هندسی عاری از تمامی مواد و محتویات، تشکیل شده است. این فضا امکان ساخت اشکال هندسی و ایجاد رابطه بین آنها از طریق

---

[۱] Whitehead

[۲] Russell

[۳] von Neumann

[۴] Godel

[۵] mereology

[۶] Stanisław Leśniewski

[۷] این کلمه در یک روش مبهم اختیاری برای تداعی کردن ناحیه قانونی جغرافیا و همچنین برای نشان دادن اینکه ما در یک فضای فیزیکی قرار گرفتیم که به صورت ریاضی فرم‌سازی شده است، استفاده می‌شود.

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

مکان‌شناسی، به منظور ساخت اشیاء انتزاعی پیچیده‌تری را فراهم می‌کند. در این میان ماهیت اشیای اشیاء تنها با مقدمه‌ای از مفهوم مادّه و انرژی آشکار می‌شود. چگونه مادّه می‌تواند در این فضای هندسی فرم‌سازی شود؟ آیا یک نقطه، یک خط و یا یک سطح زمانی که فضا مادّی شود وجود خواهند داشت؟ ما در نهایت بررسی می‌کنیم که چگونه دانستن زمان به ما اجازه می‌دهد تا حقایق و رفتارها را بسازیم. برای مثال، زمان، اجازه تولد، رشد و مرگ هر موجود فیزیکی، زنده، اجتماعی یا خیالی را می‌دهد. همچنین ما را قادر می‌سازد تا عمق تاریخ و نامعلومی آینده را به تنوع واقعیّت فضایی بیفزاییم. بنابراین، به نظر می‌رسد که سه‌گانه فضا- زمان- مادّه اساس مفهوم اوّلیّه‌ای است که ساخت هستی‌شناسی عامل- سازماندهی- رفتار (AOB) بر پایه آن است. این امر ثابت می‌کند که قوانین فیزیک تنها بر علوم زندگی انسان و جامعه اعمال نمی‌شوند. اگر هر سطحی از واقعیّت قوانین خود را داشته باشد، آنها انسجام عمودی خود را حفظ می‌کنند که این نشان‌دهندهٔ این امر است که هر سطح نمی‌تواند در تضاد با سطوح پایین‌تر به دست آمده باشد.

مفاهیم عامل و سازماندهی در قلب ساختار شیء جغرافیایی قرار دارند. آنها یک شیء جغرافیایی را به صورت دو جانبه تعریف می‌کنند که شامل یک یا بیشتر از یک غشاء انتزاعی می‌باشد؛ قسمت خارجی که به سمت جهان خارجی است، جایی است که با آن عمل می‌کند. این حوزه از یک طرف توسّط یک بخش متنوع از اشیاء عامل از سطح مشابه که کمتر یا بیشتر توسعه یافته امّا در عین حال دارای مفهومی مشابه است، تشکیل شده است و از طرف دیگر توسّط یک سامانه محصورکننده[1] که تمامی این اشیاء در آن ادغام شده‌اند، تشکیل شده است. همچنین شامل یک طرف داخلی است که شیء را به صورت یک سازماندهی در جهت عمق حجم‌های از داخلش که قسمت‌های آن هنوز اشیاء عاملی هستند که یک سامانه را تشکیل می‌دهند، نمایش می‌دهد. این دو طرف، تعامل اساسی را که در آن ماهیّت شیء فعّال و در تکامل است، بیان می‌کنند برخی «غیر فعّال» گویند). این ویژگی‌ها اجازه یک همکاری ساختاری (یا حتّی یک همکاری تکاملی) را بین جهان داخلی و خارجی را می‌دهند. اگر هستی‌شناسی AOB از آغاز از کار AGR ژاک فربر[2] (سازمان، گروه، نقش)، الهام گرفته بود، با دوگانگی عامل و سازماندهی را که این مفهوم خود مرجع و محیط‌های داخلی و خارجی که از آن مشتق می‌شوند ادغام می‌کند؛ متفاوت می‌بود. توجّه اصلی جغرافیا با توجه به این ساختار از این حقیقت ناشی می‌شود که این ساختار دیدی سیستماتیک و چند سطحی را بیان می‌کند. علاوه بر این، به ما اجازه می‌دهد تا محدودیت‌های خارجی و داخلی مدل را شناسایی کنیم. بنابراین، ما اغلب

---

[1] englobing

[2] Jacques Ferber

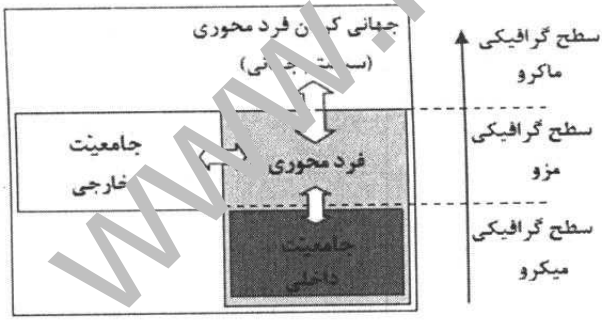
www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

می‌توانیم سه سطح از مدل‌سازی را شناسایی کنیم (امّا تعداد این سطوح محدود نیست، یعنی ماکرو[1]، مزو[2]، میکرو[3] و ...)

سطح ماکرو توسّط پوشش سامانه جهانی (که مربوط به کل مدل است) محدود شده است و شامل بالاترین سطح از سازماندهی است. سطح اصلی مربوط به اشیاء سامانه (آن سطحی که شامل اشیائی است که ما مطالعه می‌کنیم) در سطح مزو قرار دارد. این اشیاء می‌توانند خودشان توسّط اشیاء نهایی ساختار یافته باشند، بنابراین آنها نمی‌توانند به اشیاء اوّلیه بیشتری شکسته شوند. سطحی که از اشیاء نهایی تشکیل شده است را سطح «میکرو» یا «ویژه» می‌نامیم. اگر مشکل همچنان ادامه داشت ما همیشه می‌توانیم سطوح بیشتری را اضافه کنیم. این نمایش (شکل I-۱ را ببینید) برای یک ناظر منحصر به فرد (یا یک فرد مشاهده شده توسّط مدل‌ساز) قابل درک است و می‌تواند در سطح مزو گروهی از دیگر افراد این سطح را ببیند و از داخل نیز، گروه بندی اجزای داخلی سطح میکرو را که در رابطه با سامانه‌ای که در آن تکامل می‌یابد هستند (در سطح ماکرو)، «احساس کند».

علاوه بر این، این مرحله فرم‌سازی که ما استفاده می‌کنیم، از نظر ریاضی و اطّلاعاتی در تضاد نیستند امّا مکمّل‌اند و می‌توانند به طور متقابل سودمند باشند. همان‌طور که در جغرافیا مرسوم است، روش ما به صورت یک شیء یا مفهوم در قالب یک توصیف ارائه می‌شود. سپس آن را به‌صورت ریاضی فرم‌سازی می‌کنیم تا دریابیم که چگونه می‌تواند به شکل فرم‌سازی‌های مفهومی، ساختاری یا الگوریتمی علوم رایانه‌ای، ترجمه شود.



شکل I-۱ رابطه بین فردی، جمعی، داخلی و خارجی

علائم استفاده شده

[1] macro
[2] meso
[3] micro

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

ما به طور مداوم از دو روش فرمول‌ها، عبارات ریاضی و الگوریتم‌ها استفاده می‌کنیم. این دو روش نمایش با قراردادهای مختلفی هستند بنابراین، دانستن تفاوت این دو روش بسته به زمینه، خالی از لطف نیست. زبان ریاضی به طور کلّی از یک نماد (به‌طور معمول یک حرف)، استفاده می‌کند که گاهی اوقات همراه با یک اندیس برای نمایش یک ماهیّت به عنوان یک متغیّر، یک عنصر، یک مجموعه، یک تابع، یک مجهول و ... می باشد. زمانی‌که ما دو حرف را که اعداد را نمایش می‌دهند مرتبط می‌کنیم، اغلب به این معنی است که آنها را ضرب کرده‌ایم. در مقابل، در علوم رایانه‌ای، با توجّه با این که تعداد نمادهای یک برنامه یا الگوریتم می‌تواند زیاد باشد، ما یک ماهیت را توسّط یک اسم به نسبت صریح با استفاده از تعداد زیادی حرف، نمایش می‌دهیم. فرمولی مشابه یا مجموعه‌ای از محاسبات می‌تواند به دو صورت نوشته شود و نمادهای مشابه می‌توانند معانی متفاوتی داشته باشند:

- در *زبان ریاضی*، نمادها به شکل مورّب نوشته می‌شوند تا از زبان‌های رایج دیگر متمایز شوند. عملیات ضرب ضمنی است (یا به ندرت با یک نقطه نشان داده می‌شود). عبارت برابری a=b یک ویژگی ریاضی را نشان می‌دهد و به این معنی است که a و b دو راه برای نشان دادن یک مقدار مشابه یا عنصر مشابهی از یک مجموعه هستند. ما نمادهای خاصی برای انجام عملیات استفاده می‌کنیم (جمع، ادغام، خط فراکسیون، ریشه مربّع و ...).

بنابراین،

$$y = y_{mij} + j$$

عدد y برابر کمینه y به اضافه ضرب اعداد j و j است.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

نشان می‌دهد که عدد x بار (میانگین را در امّار نشان می‌دهد)، برابر با معکوس n ضرب در جمع x_iها است و اندیس i از ۱ تا n متغیّر است و باعث می‌شود جمع x_iها را تقسیم بر n کنیم:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_i + \cdots + x_n}{n}$$

- در *زبان الگوریتم* ما از فونت «ماشین تحریر» استفاده می‌کنیم و اغلب از روشی ترکیبی که نزدیک به زبان پاسکال است، استفاده می‌کنیم. ضرب توسّط یک ستاره نشان داده می‌شود. نماد برابری «=» دیگر همان معنایی که در ریاضیات داشت را ندارد. در این‌جا برابری یک عملیات منطقی است که نتیجه «درست» را در صورتی که اعضای راست و چپ مقدار یا کیفیّت مشابهی را نشان دهند، می‌دهد؛ در غیر این صورت نتیجه «نادرست» را می‌دهد. ما نباید نماد برابری را با تخصیص اشتباه بگیریم، توجّه داشته باشید که در زبان پاسکال به صورت ":=" یا گاهی اوقات در زبان الگوریتمی، توسّط یک پیکان "←" نمایش داده می‌شود. عبارات "$a := b+c$" یا "$a \leftarrow b+c$" به این معنی است که ما مقادیری در فایل‌های حافظه به نام b و c را خواندیم و از جمع $b+c$ استفاده کردیم و نتیجه را در فایل حافظه «a» نوشتیم

www.ketab.ir

www.a-pdf.com ©®

(یا ذخیره کردیم). در الگوریتم، از نمادهای خاص استفاده نمی‌کنیم (یونانی و ...)، ما تنها از نمادهای صفحه کلید استفاده می‌کنیم. ماهیت‌ها اغلب توسط زنجیره‌ای از تعداد زیادی از کاراکترها نام‌گذاری می‌شوند. یک نقطه، جدا کننده‌ای بین یک ماهیت پیچیده (یک شیء) و یک جزء از این ماهیت (یک ویژگی، دسته یا روش) را نشان می‌دهد.

- برای مثال، دو فرمول بعدی می‌توانند به این صورت نوشته شوند:

$$y := DTM.yMin + j*DTM.PasY$$

«yMin» و «PasY» فیلدهای (ویژگی‌های) شیء «DTM» هستند ما هم‌چنین می‌توانیم شکل الگوریتمی از نوشتن داشته باشیم مانند مثال بعدی که میانگین مقادیری که در جدول X قرار دارند را محاسبه می‌کند.

```
AveX :=0 ;
for i :=1 to n do
AveX := AveX + X[i]
end ;
AveX :  AveX/n
```

www.ketab.ir