Archive of SID

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵
صفحات ۹۸۱ تا ۹۹۶

طراحی و توسعه نرم افزار شبیه ساز سلول های خودکار (CAS) با رویکرد کاربرد در محیط زیست

علی خطیبی[۱]، امیرحسین حمیدیان[۲]*

[۱] دانشجوی کارشناسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[۲] دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۲/۱/ ۱۳۹۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۲۱)

چکیده

تکنیک شبیه سازی عبارت از بهره گیری از اصول علم محاسبات در مطالعات مربوط به سایر زمینه های علم و فناوری می باشد. مدلسازی بر اساس روش سلول خودکار اغلب در جهت بررسی پراکنش و توزیع مکانی و زمانی پدیده ها مناسب می باشد لذا استفاده از این مدل در بررسی روند تغییرات وابسته به مکان و زمان مانند توزیع و گسترش مکانی یک آلاینده و یا آشیان بوم شناختی یک گونه در مطالعات محیط زیستی مناسب بنظر می رسد. سلول های خودکار به عنوان ابزاری قدرتمند در مدل سازی، خصوصا در بررسی تحولات زمانی و مکانی یک سیستم به شمار می رود اما یکی از کاستی های موجود در این زمینه فقدان یک نرم افزار مناسب در جهت آموزش و بکارگیری مدل می باشد. در نتیجه اغلب متخصصین و افراد علاقمند به استفاده از سلول های خودکار می بایست با مفاهیم برنامه نویسی رایانه آشنایی داشته و برای تحلیل مدل مورد نظرشان یک برنامه رایانه ای تک منظوره را طراحی و مورد استفاده قرار دهند. در این پژوهش اقدام به طراحی و پیاده سازی نرم افزاری شد که امکان تعریف مدل های متعددی را بر اساس سلول خودکار فراهم می سازد تا کاربر بدون نیاز به داشتن دانش برنامه نویسی مدل دلخواه خود را پیاده سازی و به بررسی رفتار مدل بپردازد. به نظر می رسد استفاده از این نرم افزار بویژه در راستای اهداف آموزشی در زمینه بررسی پراکنش مکانی عامل های بوم شناختی و روند تغییرات آنها موثر و مفید واقع شود.

کلید واژگان: شبیه سازی، آموزش، سلول خودکار، پراکنش مکانی و زمانی.

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۹۱۰۹۷۷۴۲۴۵ ایمیل : a.hamidian@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

بی شک کاربرد رایانه و علوم محاسبات در رشد و گسترش شاخه های مختلف علوم نقش بسزایی داشته است بگونه ای که کمتر زمینه ای را در زندگی روزمره می توان یافت که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم از این فناوری بی بهره باشد. علاوه بر کاربردهای عمومی و روزمره رایانه، وجود ویژگی های همچون افزایش سرعت، دقت و کاهش منابع مصرفی موجب گردیده است تا این ابزار جایگاه ویژه ای در مطالعات علمی داشته باشد.

تکنیک شبیه سازی عبارت از بهره گیری از اصول علم محاسبات در مطالعات سایر زمینه های علم و فناوری می باشد. با توجه به سرعت روزافزون رشد علم در جامعه ی امروز و همچنین کمبود امکانات آزمایشگاهی از یک سو و ازسوی دیگر پرهزینه بودن پژوهش های آزمایشگاهی، استفاده از شبیه سازی پیش از اقدام به پژوهش های آزمایشگاهی می تواند موجب کاهش چشمگیر هزینه ها گردیده و سرعت دستیابی به نتیجه ی مطلوب را افزایش می دهد (Sheldon, 2006).

مدلسازی بر اساس روش سلول خودکار اغلب در جهت بررسی پراکنش و توزیع مکانی و زمانی پدیده ها مناسب می باشد لذا استفاده از این مدل در بررسی روند تغییرات وابسته به مکان و زمان مانند توزیع و گسترش مکانی یک آلاینده، آشیان بوم شناختی و... در مطالعات زیست محیطی مناسب می باشد (Schiff, 2007). سلول خودکار[1] (CA) مدلی است محاسباتی که فرایندهای محلی کوچک مقیاس را به الگوهای بزرگ مقیاس تعمیم می دهد. در این روش که بیشتر به بررسی الگوهای پویایی پراکنش مکانی می پردازد، فضای مورد نظر (محیط) بصورت شبکه تقسیم بندی شده و ارتباط بین خانه های شبکه با قوانینی مشخص بیان می شود که معمولا این قوانین در سرتاسر شبکه یکسان و عمومی می باشند. سلول های خودکار به عنوان یک روش مدلسازی رایج در شاخه های مختلف علوم و به عنوان یکی از رایج ترین مدل های مورد استفاده در مطالعات گسترش مکانی در بوم شناسی مورد استفاده قرار می گیرد (Breckling *et al.*, 2011). در طی ۵۰ سال استفاده موفق از سلول های خودکار در مدلسازی، توانایی مناسب این روش در شناخت و بررسی سیستم های پیچیده اثبات گردیده است (Hoekstra *et al.*, 2010).

اولین کاربرد سلول های خودکار در موضوعات زیست شناسی عبارت بود از مدل رشد سلول های میله ای با توجه به در نظر گرفتن شرایط محیطی که توسط Lindenmayer در سال ۱۹۶۸ به انجام رسید. پس از آن Kaplan در سال ۱۹۸۸ مدلی پویا برای شبیه سازی جریان خون در قلب ارائه نمود. Pytte در سال ۱۹۹۱ مدلی برای مطالعه هیپوکامپ مغز ارائه داد که به بررسی حدود ۱۰/۰۰۰ نورون با استفاده از ۲۵۰۰۰۰ معادله متفاوت پرداخت و در سال های بعد

[1] Cellular Automata

www.SID.ir

Archive of SID

سایر پژوهشگران مدل هایی برای رشد تومورها و ناهنجاریهای ژنتیکی با استفاده از سلول خودکار ارائه دادند. یکی از مدل های بکار رفته در بوم شناسی بر اساس سلول های خودکار مدل شکار-شکارچی[۲] است که توسط Dewdney در سال های ۱۹۸۴ و ۱۹۸۸ در مجله Scientific American به چاپ رسید که تحت عنوان WATOR شناخته می شود. مدل دیگر شناخته شده در علوم زیستی که در آنها از سلول های خودکار استفاده شده است عبارتند از مدل بررسی پراکنش باکتری ها در محیط که توسط Edelstein-Keshet در سال ۱۹۹۳ ارائه گردیده است. از سایر کاربرد های سلول های خودکار، استفاده از آن در بررسی رفتار پراکنش فیزیکی مواد در سیال، بررسی شکل بلور های برف، جریانات درون سیال، شارش گرما در حالت پایدار[۳] را نام برد (Schiff, 2007).

همچنین کاربردهای بسیاری از سلول خودکار در بررسی تغییرات اکولوژیک و سیمای سرزمین وجود دارد که در ادامه برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه باختصار معرفی می گردند. White and Engelen (1993) از سلول‌های خودکار در بررسی ساختار مکانی و زمانی ابعاد توسعه شهری استفاده کردند که نتایج این مطالعه حاکی از بازنمایی واقع-گرایانه مدل از واقعیت شهرها بود. Kiani (2003) در رساله دکترای خود، مدل سلول خودکار را برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه ۵ تهران در سال‌های ۴۳ تا ۸۲ به کار برد. Firooz-Abadi و همکاران (2009) در پژوهشی تلفیق بکارگیری سنجش از دور، سامانه های اطلاعات جغرافیایی و مدل سلول خودکار را برای شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی شهری در شهرکرد مورد بررسی قرار دادند که در نهایت این رویکرد را برای شبیه سازی روند رشد شهرهای ایران و سایر نقاط جهان، کاربردی و مناسب معرفی نمود. Alimohammadi-Sarab و همکاران (2010) کارایی مدل سلول خودکار در شبیه سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران را مورد ارزیابی قرار دادند. براساس نتایج بدست آمده در مطالعات ایشان مدل سلول خودکار برای پیش بینی و مدل سازی تغییرات کاربری مناسب تشخیص داده شد. Maleki (2010) به مدل‌سازی توسعه شهر همدان با استفاده از روش سلول خودکار پرداخت و نتایج این تحقیق حاکی از سازگاری مناسب این مدل با الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند الگوریتم ژنتیک و صحت بالاتر آن در مقایسه با مدل رگرسیون لجستیک بوده است. Al-Ghamdi (2012) پس از امکان سنجی و مقایسه مدل ها و روش های شبیه سازی متفاوت برای پدیده های شهری و سیمای سرزمین، بکار گیری روش های مبنی بر اتوماتای سلولی را بعنوان سازگارترین روش در این زمینه معرفی نمود.

بطور کلی هر مدل سلول خودکار شامل شبکه ای متشکل از یک مجموعه غیر تهی و متناهی از حالت ها، سلول های مجزا و یک قانون بروزرسانی عمومی می باشد که حالت هر سلول را در لحظه ی $t+1$ بر اساس حالت آن سلول و سلول های همسایه اش در لحظه ی t محاسبه می نماید (Powley &

[۲] Prey-Predator

[۳] Steady State

www.SID.ir

Archive of SID

Stepney, 2008). هر سلول در شبکه می تواند دو یا چند حالت داشته باشد و لذا یک مدل سلول های خودکار می تواند چندحالتی گسسته[۴] و یا چند حالتی پیوسته[۵] باشد. به عنوان مثال مدل دودویی[۶] یک مدل دوحالتی گسسته است که هر سلول می تواند در هر لحظه به یکی از دوحالت تعریف شده باشد و به عنوان یک مثال برای مدل های چند حالتی پیوسته می توان از مدل های فازی[۷] نام برد. شبکه می تواند دارای طول (یک بعدی)، طول و عرض (دوبعدی) و طول و عرض و عمق (سه بعدی) و یا در ابعاد بالاتر باشد (Breckling *et al.*, 2011). بازی زندگی کانوی[۸] یکی از مدل های اولیه و ساده سلول های خودکار است که شامل شبکه ای دوبعدی می باشد بصورتیکه هر سلول نیز دو حالت را پذیرا می باشد (Owens & Stepney, 2008).

یکی از اهداف مطالعاتی در اغلب شاخه های علم به تصویر کشیدن روابط موجود در پدیده های طبیعی در قالب مدل ها می باشد و در این راستا سلول خودکار به عنوان ابزاری قدرتمند در مدل سازی، خصوصا در بررسی تحولات زمانی و مکانی یک سیستم بشمار می رود (Gillman, 2009).

۲. مواد و روش ها

بر اساس بررسی های انجام شده، استفاده از شبیه سازی در مطالعات علمی می تواند بسیار راه گشا باشد. این رویکرد علاوه بر آنکه موجب بررسی تعداد بیشتری از فرضیه ها در واحد زمان می گردد، کاهش هزینه های مربوط به پژوهش را نیز به همراه دارد. بعلاوه در بسیاری از مطالعات علمی بدلیل دخیل بودن حجم زیادی از داده ها و روابط، امکان بررسی سیستم بصورت دستی توسط انسان وجود ندارد و از طرفی دیگر بسیاری از پژوهشگران آشنایی کافی با تکنیک های تولید نرم افزار و برنامه نویسی ندارند (Sheldon, 2006). با توجه به کاربرد سلول های خودکار در مطالعات محیط زیستی بویژه در بررسی پراکنش های زمانی-مکانی، آشنایی با کاربرد و بکارگیری این رویکرد، خصوصا برای پژوهشگران و دانش پژوهان مفید و لازم به نظر می رسد. در پژوهش حاضر با درنظر گرفتن مفاهیم و کاربرد سلول های خودکار، نرم افزاری تعاملی طراحی گردید تا کاربران بتوانند بدون داشتن دانش برنامه نویسی و با استفاده از نرم افزار مذکور در جهت آموزش و آشنایی با این روش اقدام نموده و همچنین مدل های بسیاری را پیاده سازی و روابط فرضی متعددی را مورد آزمون و بررسی قرار دهند. در این بخش ابتدا به معرفی مفاهیم و کلیات مربوط به مدل مورد استفاده پرداخته و سپس فرایند و بخش های نرم افزار طراحی شده شرح داده می شود.

۱،۲ کلیات

در مدلسازی به روش سلول های خودکار مفاهیم پایه ای وجود دارد که در ادامه ابتدا به معرفی آنها

---

[۴] Discrete Multi-State
[۵] Continues Multi-State
[۶] Binary
[۷] Fuzzy
[۸] Conway's Game of life

www.SID.ir

Archive of SID

پرداخته می شود که این مفاهیم شامل سلول[۹]، شبکه[۱۰]، همسایگی[۱۱] و قوانین[۱۲] می باشند.

سلول: سلول ها واحد های عملیاتی در مدل سلول های خودکار محسوب می شوند. سلول ها یک فضای ذخیره سازی حالت محسوب می شوند که می توانند تعدادی حالات گسسته یا پیوسته از متغیر مورد نظر را شامل شوند. برای مثال در فرایند مدلسازی خاک، سلول ها سطحی از خاک هستند که محتوای آنها می تواند میزان رطوبت، مواد آلی، دما و غیره باشد (Breckling *et al.*, 2011).

شبکه: سلول ها در کنار یکدیگر قرار گرفته و تشکیل شبکه می دهند. سلول های مجاور را سلول های همسایه[۱۳] می نامند. یک شبکه می تواند متناهی[۱۴] یا نامتناهی[۱۵] باشد. همچنین شبکه می تواند بصورت یک بعدی (سطری یا ستونی)، دو بعدی (صفحه)، سه بعدی (فضایی) و یا حتی در ابعاد بالاتر نیز طراحی و پیاده سازی گردد (Breckling *et al.*, 2011).

محدوده ی مورد بررسی در این روش مدل سازی به صورت موزائیکی تقسیم بندی گردید. در جهت تسهیل در فرایند محاسبات، این شبکه به صورت یک ماتریس محاط بر محدوده تعریف می گردد بصورتی که هر درایه ی این ماتریس معرف بخش مشخصی از محدوده ی مورد بررسی می باشد. مقادیر متناظر با هر درایه ی این ماتریس به گونه ای تعریف می گردد که نشانگر شدت و مقدار فاکتور مورد نظر باشد. بطور کل دو نوع شبکه می تواند در مدل وجود داشته باشد. نوع اول، شبکه ای است که وضعیت پراکنش پدیده را بصورت حضور و یا عدم حضور مشخص می نماید. این شبکه با $P = [p_{ij}]_{m\times n}$ نمایش داده می شود. تعداد سطرهای این ماتریس برابر m و تعداد ستوانهای آن برابر n می باشد و اندیس i بیانگر شماره ی سطر و اندیس j بیانگر شماره ی ستون می باشد. مقدار هر درایه ماتریس متناسب است با وضعیت حضور و یا عدم حضور پدیده در محدوده مورد بررسی، بگونه ای که حضور پدیده با مقدار ۱ و عدم حضور آن با مقدار ۰ مشخص می گردد و لذا نتیجه می شود که این ماتریس یک ماتریس دودویی[۱۶] می باشد. نوع دیگر، شبکه هایی هستند که وضعیت منابع موثر بر پراکنش را مشخص می سازند. دراین نوع شبکه ها، به ازای هر فاکتور موثر بر پراکنش در منبع یک سطح شبکه تعریف می شود که این سطح با اندیس k مشخص می گردد. این شبکه با ماتریس $L_k = [l_{ij}]_{m\times n}$ تعریف می شود که تعداد سطرهای این ماتریس برابر m و تعداد ستوانهای آن برابر n می باشد و اندیس i بیانگر شماره ی سطر و اندیس j بیانگر شماره ی ستون می باشد و همانطور که گفته شد اندیس k نشان دهنده منبع مورد نظر می باشد. برای مثال L_1 می تواند نشان دهنده میزان

---

[۹] Cell
[۱۰] Grid/Lattice
[۱۱] Neighbourhood
[۱۲] Rules
[۱۳] Neighbours
[۱۴] Finite
[۱۵] Infinite
[۱۶] Binary

www.SID.ir

Archive of SID

رطوبت نسبی خاک، L_2 می تواند نشان دهنده میزان سدیم محلول در خاک و ... باشد. مقدار درایه های این ماتریس بر اساس شدت، کمیت و کیفیت فاکتور منبع تعیین می گردد و بنابراین درایه های این ماتریس ها چند مقداری می باشند.

همسایگی: سلول های مجاور با هم رابطه ی همسایگی دارند و سلولی که در مرکز این ساختار قرار می گیرد را سلول کانونی[۱۷] می نامند. روابط بین همسایگی ها می تواند یک یا دو طرفه باشد. هر درایه در ماتریس مشخص کننده ی یک موقعیت در نقشه می باشد. در حالت کلی در شبکه بندی مسطح، هر سلول دارای هشت همسایگی می باشد که موقعیت نسبی این سلول ها در شکل ۱ نشان داده شده است (Breckling *et al.*, 2011). در مدل سلول های خودکار وضعیت هر سلول متاثر از وضعیت سلول های همسایه می باشد. به عبارت دیگر اگر S_t نشان دهنده ی وضعیت سلول در لحظه ی t باشد، وضعیت سلول در لحظه ی $t+1$ با رابطه ی زیر مشخص گردید (رابطه ۱).

$$S_{t+1} = f(S_t) \qquad \text{رابطه } 1$$

در رابطه ی فوق f معرف تابع انتخاب است. تابع انتخاب، تابعی است منطقی و یا محاسباتی و یا ترکیبی از هر دو که با توجه به وضعیت سلول های همسایه، وضعیت جدید سلول کانونی و همسایگانش را مشخص می کند.

[۱۷] Focal Cell

$a_{i-1,j-1}$	$a_{i,j-1}$	$a_{i+1,j-1}$
$a_{i-1,j}$	$a_{i,j}$	$a_{i+1,j}$
$a_{i-1,j+1}$	$a_{i,j+1}$	$a_{i+1,j+1}$

شکل ۱- موقعیت نسبی سلول ها و همسایگی

قانون: عبارات منطقی یا ریاضی هستند که مشخص کننده حالت[۱۸] هر سلول در هر لحظه از اجرای مدل می باشند. معمولا حالت هر سلول متناسب با حالت های سلول های همسایه تعیین می گردد. از دیدگاه محاسباتی، قانون بین متغیرهای مستقل و وابسته در مدل ارتباط برقرار می نماید. این رابطه می تواند در روی یک شبکه و یا چندین شبکه به صورت همزمان تعریف شود (Breckling *et al.*, 2011). شکل کلی این رابطه به صورت زیر می باشد (رابطه ۲).

$$S_t = r_t(L_k|_P) \qquad \text{رابطه } 2$$

در رابطه ی فوق $L_k|_P$ مشخص کننده ی سلول مورد بررسی می باشد، بصورتیکه خروجی آن درایه های ماتریس منابع (L_k) است که از لحاظ سطر و ستون متناظر با درایه های ماتریس پراکنش (P) می باشد. با هر بار اجرای مدل، وضعیت جدید هر سلول بر اساس وضعیت فعلی آن تعیین می گردد. بدین ترتیب هر بار بر اساس نقشه و یا نقشه های فعلی، نقشه و یا نقشه هایی بدست می آید که بیانگر وضعیت پدیده در لحظه ی جدید می باشد. از دیدگاه محاسباتی هرگاه بخواهیم مدل را برای n مرتبه اجرا کنیم و یا به عبارت دیگر وضعیت پدیده ی موجود را

[۱۸] State

www.SID.ir

Archive of SID

پس از n دوره ی زمانی شبیه سازی نمائیم، می بایست مدل را در یک حلقه ی تکرار قرار دهیم. در رابطه ی قبل r_t نشان دهنده ی تابعی است که قانون را در لحظه t پیاده سازی می کند. باید توجه داشت که قانون r می تواند مستقل از زمان باشد، بعبارت دیگر رابطه r_0 و r_1 و ... می توانند کاملا یکسان باشند. بطور کلی رابطه ی موجود برای هر پدیده را می توان به فرم عمومی زیر مشخص ساخت (رابطه ۳):

$$S_{t+1} = f\left(r_t(L_k|_P)\right) \qquad \text{رابطه 3}$$
$$t = 0,1,2, \dots$$

از دیدگاه دیگر مدل های مبتنی بر سلول خودکار بر اساس تعداد نقشه هایی که مورد استفاده قرار می دهند به دو دسته مدل های یک سطحی[۱۹] و مدل های چند سطحی[۲۰] دسته بندی می گردند (Owens & Stepney, 2008). در مدل های یک سطحی صرفا با یک نقشه سر و کار است. این نقشه حاوی وضعیت پراکنش زمانی و یا مکانی پدیده ی مورد نظر می باشد و وضعیت جدید پدیده در هر سلول بر اساس وضعیت قبلی آن سلول و وضعیت سلول های همسایه مشخص می گردد. بعنوان مثال تصور کنید وضعیت قرارگیری تعدادی توپ را بر کف اتاقی مد نظر می باشد. اگر فرض کنیم کف اتاق کاملا مسطح بوده و شیب نداشته باشد و در این حالت توپ ها را در کف اتاق رها سازیم، حرکت توپ ها بر کف اتاق از این مدل پیروی می کند، چرا که موقعیت جدید هر توپ وابسته به جهت حرکت آن و حضور و یا عدم حضور سایر توپ ها در اطراف آن می باشد.

در مدل های چندسطحی حداقل دو سطح وجود دارد که سطح اول نشانگر وضعیت پراکنش پدیده و سطوح دیگر بیانگر وضعیت منابع موثر بر پراکنش پدیده می باشد، به گونه ای که وضعیت هر منبع بر اساس تاثیرگذاری بر پراکنش پدیده مورد نظر به صورت یک نقشه مشخص می گردد. بعنوان مثال می توان وضعیت پراکنش یک گونه ی گیاهی خاص را در یک منطقه با توجه به تاثیرات میزان سدیم محلول در خاک بر پراکنش آن مورد بررسی قرار داد. همانطور که واضح است در این مدل پراکنش و گسترش گونه ی گیاهی صرفا وابسته به وضعیت موجود و یا پراکنش سایر گونه های یکسان نیست و احتمالا تابعی از سدیم محلول در خاک می باشد. البته باید اشاره داشت که بر اساس این تحلیل، وضعیت پراکنش سایر گونه ها در حالت فعلی خود تابعی از شدت و مقدار سدیم محلول در خاک بوده است و شاید این گمان پیش بیاید که در نهایت بررسی وضعیت پراکنش پدیده مورد نظر بر اساس پراکنش سایر گونه های یکسان، مشابه آنچه در مدل های تک سطحی گفته شد بتواند دربرگیرنده ی کلیه ی فاکتورهای موثر بر پراکنش گونه باشد، که از نظر علمی این فرضیه قابل بررسی می باشد. در این مدل ها اندیس k می تواند مقادیر متفاوتی را بپذیرد و ماتریس P با ماتریس های L_{k} تفاوت دارند.

هر بار اجرای مدل برای یک پدیده بیانگر سپری شدن یک دوره ی زمانی خاص برای آن پدیده می

[۱۹] One-Layer Models
[۲۰] Multi-Layer Models

www.SID.ir

Archive of SID

باشد که این دوره های زمانی به صورت تعداد تکرار پردازش در شبیه سازی وارد می گردد. تفسیر و تحلیل تعداد تکرارها و یا به عبارت دیگر دوره های زمانی بر عهده ی شبیه ساز می باشد (Woolfson & Pert, 1999). برای روشن تر شدن موضوع فرض کنیم می خواهیم وضعیت تولید و گسترش یک گونه ی خاص از باکتری را در یک محیط بررسی نماییم در این حالت، هر دوره ی زمانی می تواند در حدود چند ثانیه تا چند دقیقه باشد. اما، اگر بخواهیم وضعیت پراکنش یک گونه از پستانداران وحشی را در یک منطقه مورد بررسی قرار دهیم، این دوره ی زمانی می تواند تا چند ده سال نیز باشد (Soetaert & Herman, 2009).

۲,۲ پیاده سازی نرم افزار

در این پژوهش، نرم افزار شبیه ساز سلول های خودکار (CAS) بر اساس مدل دو سطحی طراحی و پیاده سازی گردید. پیاده سازی این نرم افزار توسط زبان برنامه نویسی C# در محیط ویژوال استودیو ۲۰۰۸ انجام گردید. بر این اساس، نرم افزار CAS برای اجرا نیاز به محیط کاری Net. دارد بگونه ای که برای اجرای نرم افزار ابتدا می بایست این سامانه روی سیستم نصب گردد. زبان برنامه نویسی C# یکی از زبان های قدرتمند برنامه نویسی می باشد که در سال ۲۰۰۲ میلادی در شرکت مایکروسافت طراحی و پیاده سازی گردیده و تاکنون بخش های جانبی زیادی به آن اضافه گردیده است. برنامه نویسی در زبان C# بر اساس مدل شیء گرایی[۲۱]، رویداد محوری[۲۲] و تابعی[۲۳] به انجام می رسد و همچنین سطح بالایی از امنیت و توسعه پذیری را پشتیبانی می کند (Hejlsberg, 2008). نرم افزار طراحی شده در این پژوهش شامل بخش های نقشه ی منبع، نقشه ی هدف، تعریف فرمول، تنظیمات پارامترهای کلی شبیه سازی، نمایش نقشه ها و مقایسه ی دو نقشه می باشد. همچنین کلیه بخش های این نرم افزار و محیط واسط کاربری[۲۴] بصورت گرافیکی طراحی گردید تا امکان ارتباط تعاملی[۲۵] کاربر را بگونه ای راحت تر فراهم نماید.

نرم افزار CAS دارای بخش های متعددی می باشد که در ادامه به شرح این بخش ها پرداخته می شود. در بخش نقشه ی منبع[۲۶]، نقشه حاوی اطلاعات مربوط به کمیت و کیفیت فاکتور موثر بر پراکنش پدیده بارگذاری[۲۷] می شود. نقشه منبع مورد استفاده قبل از وارد سازی به نرم افزار می بایست بگونه ای مورد پیش پردازش[۲۸] قرار گیرد که عدم حضور پدیده با رنگ سفید یا سیاه مشخص گردد و نقاط حضور با توجه به شدت و مقدار فاکتور موثر در هر موقعیت، رنگی متناسب با مقدار مربوطه نسبت داده شود. برای مثال نقطه ای که مقدار متناظر با آن برابر ۱۰ می

---

[۲۱] Object Oriented
[۲۲] Event Driving
[۲۳] Functional
[۲۴] User Interface
[۲۵] Interactive
[۲۶] Source Map
[۲۷] Load
[۲۸] Pre-processing

www.SID.ir

Archive of SID

باشد نسبت به نقطه ای که مقدار متناظر با آن برابر ۱۱۰ می باشد تاثیر کمتری از فاکتور بر روی پراکنش پدیده را نشان می دهد. بدیهی است بهترین راه برای تولید این نقشه ها، طبقه بندی[۲۹] آن ها در نرم افزارهای GIS می باشد. این بخش در نرم افزار معادل L_1 در مدل می باشد. در بخش **نقشه ی هدف**[۳۰]، نقشه حاوی اطلاعات مربوط به پراکنش پدیده بارگذاری می گردد. این بخش در نرم افزار معادل P در مدل می باشد. باید توجه داشت که از نظر ابعاد با نقشه ی منبع یکسان باشد و در غیر اینصورت نرم افزار اعلام خطا نموده و نقشه را نمی پذیرد. بدیهی است در هنگام تهیه این دو نقشه باید توجه داشت که تصویربرداری از یک محدوده ی مکانی مشخص و یکسان انجام شده باشد و مختصات جغرافیایی گوشه های تصاویر با هم برابر باشد. در این نقشه عدم حضور پدیده با رنگ سفید یا سیاه مشخص می گردد و می توان از هر رنگی برای مشخص سازی نقاط حضور استفاده نمود.

بخش تعریف فرمول[۳۱] حاوی رابطه ی رگرسیونی بین توزیع منبع و پراکنش پدیده می باشد که از طریق مطالعات میدانی و یا آزمایشگاهی بدست آمده و در مدل مورد بررسی نقش قانون را دارد. این بخش نرم افزار معادل رابطه r_t در مدل می باشد. در نرم افزار CAS این امکان فراهم گردید که بتوان انواع مختلفی از روابط را در قالب فرمول تعریف نمود. این روابط بصورت ساختارهای مشخصی در نرم افزار قرار داده شدند و کاربر پس از انتخاب نوع رابطه به مشخص سازی ضرایب عددی می پردازد. برخی از این روابط شامل چندجمله ای حداکثر تا درجه ۵، قدر مطلق، جذر، تابع توان، تابع نمایی، تابع های جز صحیح، روابط مثلثاتی و تابع های لگاریتم و ... می باشد. در بخش پارامتر های کلی شبیه سازی[۳۲] وضعیت تاثیر گذاری همسایگی در پراکنش جدید را مشخص می سازد. این پارامتر معادل f در مدل می باشد. مقادیر مختلف این پارامتر شامل کمترین مقدار[۳۳]، بیشترین مقدار[۳۴]، کمتر از میانگین[۳۵]، بیشتر از میانگین[۳۶]، کمتر از مقدار مشخص[۳۷] و بیشتر از مقدار مشخص[۳۸] می باشند. برای مثال با انتخاب گزینه کمتر از میانگین، پس از محاسبه ی مقادیر کلیه ی سلول های همسایه بر اساس فرمول و نقشه ی منبع، مقدار میانگین سلول های همسایه محاسبه گردیده و کلیه ی سلول های همسایه که دارای مقداری کمتر از مقدار میانگین باشند بعنوان سلول موثر انتخاب و وضعیت سلول های متناظر با آن ها در نقشه ی هدف به صورت حضور تعریف می شود.

پارامتر دیگر در این بخش عبارت است از تعداد تکرار[۳۹] مدل که در حقیقت بیانگر تعداد بازه های زمانی شبیه سازی می باشد. قبل از شروع به شبیه

---

[۲۹] Reclass
[۳۰] Target Map
[۳۱] Formula

[۳۲] Simulation Options
[۳۳] MINimum
[۳۴] MAXimum
[۳۵] Less Than Average
[۳۶] Greater Than Average
[۳۷] Less Than
[۳۸] Greater Than
[۳۹] Iteration

www.SID.ir

Archive of SID

سازی، این امکان فراهم گردید تا کلیه ی تنظیمات و داده های مربوط به پروژه که تا این مرحله به نرم افزار معرفی شده اند، جهت استفاده های بعدی ذخیره گردد. با هر بار اجرای مدل، S_t محاسبه می گردد که مقدار t برابر بازه زمانی مورد بررسی می باشد.

پس از انجام شبیه سازی، کنترل نرم افزار به بخش نمایش نتایج[۴۰] منتقل می گردد. در این بخش امکان مشاهده و حرکت بین نقشه های تولید شده فراهم می باشد و همینطور امکان ذخیره سازی هر نقشه به صورت جداگانه و یا کلیه ی نقشه ها به صورت یکجا بر روی حافظه های جانبی در نظر گرفته شد. در بخش مقایسه ی نقشه ها[۴۱] دو نقشه از نظر ساختاری و الگوی گرافیکی با یکدیگر مقایسه می گردد و تعداد سلول های مشابه در دو نقشه مورد مقایسه، در قالب درصد ضریب صحت کلی کاپا بیان می گردد.

این نرم افزار بگونه ای طراحی گردید که استفاده ی از آن نیاز به آموزش تخصصی نداشته باشد و معیارهای کاربر پسند بودن[۴۲] در پیاده سازی نرم افزار لحاظ گردید. علاوه بر آن در هر بخش کادری وجود دارد که اطلاعات و نکته های ضروری مربوط به آن بخش را در اختیار کاربر قرار می دهد.

۳،۲ ارزیابی نرم افزار

برای ارزیابی عملکرد نرم افزار، داده هایی فرضی در نظر گرفته شدند که در شرایط متفاوت در نرم افزار مورد بررسی قرار گرفتند و بطور همزمان فرایند شبیه سازی با همان داده ها و شرایط در محیط برنامه نویسی OCTAVE 3.1 نیز بانجام رسید و در نهایت نتایج با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند و تعدادی تصویر نیز در ابعاد متفاوت انتخاب گردیدند. همچنین در این نرم افزار برای مقایسه دو تصویر از روش محاسبه صحت کلی استفاده گردید. براساس این روش سلول های نظیر به نظیر دو تصویر با ابعاد یکسان با هم مقایسه می شوند و در نهایت تعداد سلول های دارای تطابق نسبت به کل سلول های تصویر بعنوان مقدار صحت کلی برگردانده می شود. انجام این مقایسه نیز توسط برنامه نویسی در محیط OCTAVE 3.1 با استفاده از تکنیک های پردازش تصویر بانجام رسید. با توجه به این مساله که رویکرد سلول های خودکار یک رویکرد محاسباتی و برنامه نویسی می باشد و هدف از طراحی و پیاده سازی این نرم افزار یکپارچه سازی محیطی برای پردازش های مبنی بر روش سلول خودکار و کاربرپسند ساختن استفاده از آن می باشد لذا برای ارزیابی این نرم افزار کافی است که به شیوه نامبرده خروجی حاصل از این نرم افزار در شرایط مشابه با خروجی حاصل از رویکرد کلاسیک یعنی برنامه نویسی مورد مقایسه قرار گیرد که در این پژوهش به همین شیوه این ارزیابی به انجام رسید.

۳. نتایج

همانگونه که در بخش ۲،۳ شرح داده شد برای ارزیابی نرم افزار طراحی شده داده هایی فرضی آماده

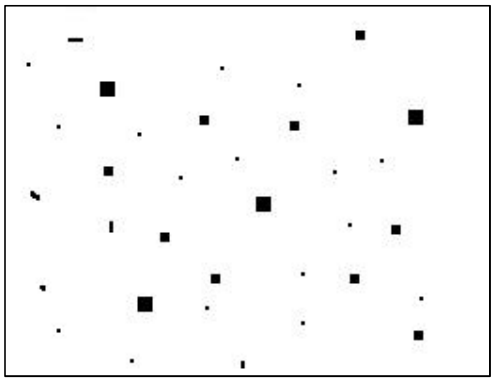
---

۴۰ Show Result
۴۱ Compare Maps
۴۲ User Friendly

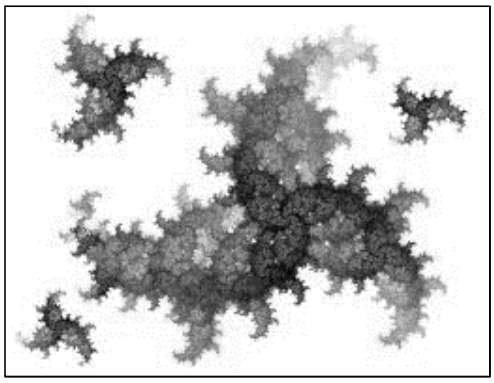
www.SID.ir

Archive of SID

گردید. این داده ها شامل وضعیت پراکنش پدیده مورد نظر و وضعیت پراکنش منبع موثر بوده است که در شکل های ۲ و ۳ نمایش داده شده اند.



شکل ۲- وضعیت فرضی پراکنش پدیده مورد نظر



شکل ۳- وضعیت فرضی پراکنش منبع موثر

سپس داده های فرضی وارد نرم افزار شدند و در ادامه فرمول رابطه رگرسیون بین پراکنش پدیده و منبع موثر به نرم افزار معرفی گردید. در این نرم افزار می توان ۱۴ نوع متفاوت از روابط رگرسیونی را در آن مشخص نموده و ضرایب متغیرهای مدل را تعریف نمود. در این پژوهش برای هر یک از روابط موجود در نرم افزار ضرایبی مشخص گردید که تعدادی از آنها در جدول ۱ نمایش داده شده اند.

در جدول ۱ متغیر y وضعیت پراکنش پدیده مورد نظر را براساس مقدار متغیر x که مشخص کننده توزیع مکانی منبع موثر می باشد مشخص می سازد. در گام بعدی در بخش پارامترهای کلی شبیه سازی، نوع قانون شبیه سازی انتخاب و تعداد تکرار مراحل شبیه سازی نیز مشخص گردید. در نرم افزار طراحی شده امکان انتخاب ۶ قانون شبیه سازی وجود دارد که وضعیت هر سلول در شبیه سازی براساس این قانون ها و مقدار سلول های همسایه مشخص می گردد. در این پژوهش به ازای هر یک از روابط رگرسیونی تعریف شده، هر یک از ۶ قانون با تعداد تکرار ۳۰ دوره زمانی اجرا گردیدند که در

www.SID.ir

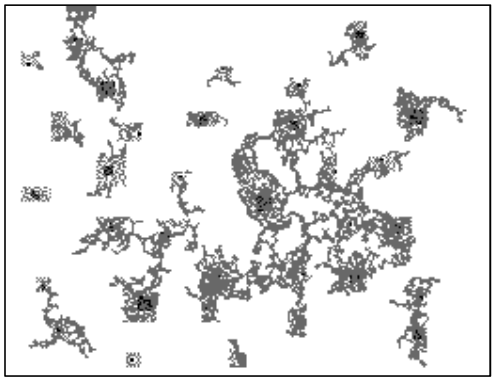
Archive of SID

مجموع ۸۴ وضعیت متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱- خلاصه ای از روابط رگرسیونی معرفی شده به نرم افزار

شماره رابطه	فرمول
۱	$y = 0.2x^5 - x^4 + 2.5x^3 + 3x - 14.7$
۳	$y = 2\sqrt{x-1}$
۵	$y = 5e^{3x-4}$
۹	$y = 3\ln(4x+1)$
۱۱	$y = 7\sin(4x+4)$
۱۴	$y = 3\cosh(2x-7)$

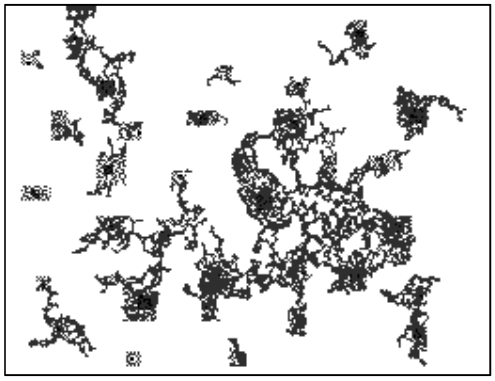
در شکل های ۴، ۵ و ۶ وضعیت پراکنش پدیده فرضی به ازای رابطه شماره ۱ و قانون مقادیر بیشتر از میانگین در بخش پارامترهای کلی شبیه سازی به ترتیب برای دوره هایی برابر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دوره زمانی (تکرار) بعنوان نمونه نتایج نرم افزار نمایش داده شده اند.



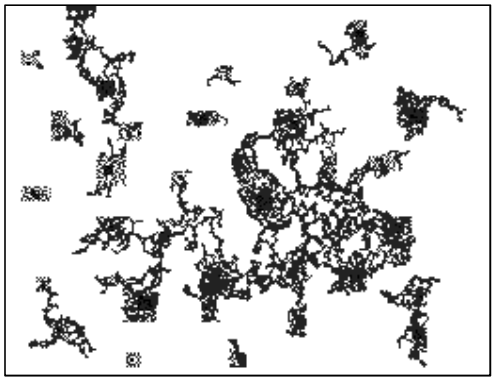
شکل ۴- شبیه سازی وضعیت پراکنش پدیده فرضی پس از ۱۰ بازه زمانی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- شبیه سازی وضعیت پراکنش پدیده فرضی پس از ۲۰ بازه زمانی



شکل ۶- شبیه سازی وضعیت پراکنش پدیده فرضی پس از ۳۰ بازه زمانی

در ادامه برای ارزیابی عملکرد نرم افزار طراحی شده، متناسب با هر وضعیت شبیه سازی، برنامه ای در محیط OCTAVE 3.1 ایجاد گردید که فرایند شبیه سازی را در شرایطی کاملا مشابه روی داده های فرضی بانجام رسانید. سپس نتایج بدست آمده از هر دو روش نامبرده (نرم افزار طراحی شده و برنامه نویسی) مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین تعداد ۱۶ تصویر در ابعاد متفاوت بصورت تصادفی از اینترنت انتخاب شده و در مجموع فرایند مقایسه برای ۱۰۰ تصویر بانجام رسید. مقایسات بین تصاویر با استفاده از رویکرد ضریب صحت کلی، توسط نرم افزار طراحی شده و برنامه نویسی در محیط OCTAVE 3.1 بانجام رسید که تطابق ۱۰۰ درصدی بین عملکرد و نتایج نرم افزار و روش برنامه نویسی در محیط OCTAVE 3.1 دیده شد.

۴. بحث و نتیجه گیری

نرم افزار شبیه ساز سلول های خودکار (CAS) بر اساس مدل دوسطحی داده ها و برای انجام مطالعات پراکنش مکانی و زمانی در پدیده های مختلف طراحی گردید. بطور کلی، این مدل و در نتیجه نرم افزار مذکور فارغ از نوع داده ها عمل نموده و لذا می توان از آن در شبیه سازی طیف گسترده ای از پدیده ها استفاده نمود. بسیاری علم محیط زیست

www.SID.ir

Archive of SID

را علم بررسی اکوسیستم ها می نامند و به زبان دقیق تر می توان گفت که محیط زیست حاصل جمع اکوسیستم و انسان است. هر اکوسیستم دارای اجزاء و روابط درونی و بیرونی بسیار زیادی است که با اضافه شدن نقش انسان به آن، دشواری محاسبات دوچندان می گردد و لذا بررسی نظری بسیاری از فرایندهای محیط زیستی بصورت دستی مقدور نمی باشد (Hoekstra *et al.*, 2010). بنظر می رسد استفاده از روش مدلسازی سلول های خودکار بتواند در این زمینه راه گشا و یاری رسان باشد (Breckling *et al.*, 2011). در این راستا نرم افزار CAS بگونه ای طراحی گردید که بتواند رابطه رگرسیونی بین پدیده و عامل محیطی را در قالب شبکه ای از سلول ها دریافت نموده و با درنظر گرفتن قابلیت های سلول های خودکار نسبت به پیش بینی وضعیت آینده پدیده اقدام نماید.

نرم افزار طراحی شده با دریافت داده هایی که مشخص کننده وضعیت پراکنش پدیده و منبع موثر می باشند و تنظیم رابطه رگرسیونی بین آنها چهارچوبی را برای انجام شبیه سازی بر اساس روش سلول خودکار فراهم می سازد. در ادامه با دریافت پارامترهای کلی شبیه سازی که مشخص کننده قانون موثر در شبکه می باشد و همچنین مشخص سازی تعداد تکرار، فرایند شبیه سازی بانجام می رسد. در این پژوهش با استفاده از داده های فرضی فرایند شبیه سازی در ۸۴ حالت مختلف به انجام رسید و همزمان این فرایند با روش برنامه نویسی مستقیم و موردی در محیط OCTAVE 3.1 نیز بانجام رسید. در نهایت نتایج بدست آمده به همراه ۱۶ تصویر تصادفی در ابعاد گوناگون، توسط نرم افزار طراحی شده و برنامه نویسی در محیط OCTAVE 3.1 با استفاده از روش محاسبه ضریب صحت کلی مورد مقایسه قرار گرفتند و به این ترتیب عملکرد محاسباتی نرم افزار در بخش های شبیه سازی و مقایسه مورد ارزیابی قرار گرفت که براساس نتایج بدست آمده تطابق ۱۰۰ درصدی بین نتایج حاصل از بکارگیری نرم افزار و روش برنامه نویسی موردی دیده شد و کارایی نرم افزار تایید گردید.

۱,۴ پیشنهادات

پیشنهاد می گردد تا پژوهشگران بعدی نسبت به ارزیابی کارایی این نرم افزار در آموزش شبیه سازی بر اساس سلول های خودکار و همچنین میزان کارایی آن در مطالعات میدانی اقدام نمایند. همچنین پیشنهاد می گردد در رشته محیط زیست گرایشی با عنوان "محاسبات و شبیه سازی" ایجاد گردد که منجر به تربیت افرادی متخصص در زمینه ی طراحی و تولید نرم افزارهای مورد نیاز گردد.

۵. سپاسگزاری

در پایان برخود لازم می دانم از کلیه اساتید محترم دانشکده منابع طبیعی و گروه محیط زیست دانشگاه تهران که در طی چهار سال تحصیل در مقطع کارشناسی همواره از محضر حضورشان بهره مند گردیدم نهایت تقدیر و تشکر را بعمل آورم. همچنین مراتب قدردانی خود از جناب آقای دکتر بهمن جباریان امیری که در ابتدای راه انگیزه آشنایی با

www.SID.ir

Archive of SID

موضوع سلول های خودکار را برایم فراهم نمود بعمـل می آورم.

References

Al-Ghamdi, K. A., 2012. Modeling Spatial Dynamics Changes with Cellular Automata. The 7th National GIS Symposium, Dammam, Saudi Arabia, pp. 1-7.

Alimohammadi-Sarab, A., Motkan, A.A., Mir Bagheri, B., 2010. Evaluating of Using Cellular Automata in Simulating of Urban Growth in South West of Tehran. Human Sciences MODARES – Space Planning, Volume 14(2), 81-102, in Persian.

Breckling, B., Pe'er, G., Matsinos, Y., 2011. Cellular Automata in Ecological Modelling. In: Jopp, F., Reuter, H., Breckling, B. (Eds.), Modelling Complex Ecological Dynamics. Springer Publication, Germany, 105-117.

Firooz-Abadi, P.Z., Shakiba, A., Motkan, A.A., Sadeghi, A., 2009. Remote Sensing, Geographic Information System and Cellular Automata as a Tool for Simulating of Urban Land Use Changes (Case Study: Shahrekork City). Environmental Sciences, Volume 7(1), 133-148, in Persian.

Gillman, M., 2009. An Introduction to Mathematical Models in Ecology and Evolution: Time and Space. Blackwell Publishing, Malaysia, 168 p.

Hejlsberg, A., 2008. Visual Studio Offline Help. Microsoft, USA.

Hoekstra, A., Kroc, J., Sloot, P., 2010. Introduction to Modeling of Complex Systems Using Cellular Automata. In: Hoekstra, A., Kroc, J., Sloot, P. (Eds.), Simulating Complex Systems by Cellular Automata. Springer Publication, Germany, pp.1-16.

Kiani, A., 2003. Simulating and Assessing of Efficiency of Intelligent Sensors and Cellular Automata in Analysis of Physical Supra-map of Cities. PhD thesis, Faculty of Surveying, Tarbiat Moddares University, Tehran, Iran, 296 p., in Persian.

Maleki, D., 2010. Modelling of urban Growth Using Cellular Automata. MSc thesis, Faculty of Surveying, Khaje Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran, 110 p., in Persian.

Owens, N., Stepney, S., 2008. Investigations of Game of Life cellular automata rules on Penrose Tilings: lifetime and ash statistics. In: Adamatzky, A., Alonso-Sanz, R., Lawniczak, A., Martinez, G., Morita, K., Worsch, T. (Eds.), AUTOMATA-2008 Theory and Applications of Cellular Automata. Luniver Press, UK, pp. 1-35.

Powley, E., Stepney, S., 2008. Automorphisms of transition graphs for a linear cellular automaton. In: Adamatzky, A., Alonso-Sanz, R., Lawniczak, A., Martinez, G., Morita, K., Worsch, T. (Eds.), AUTOMATA-2008 Theory and Applications of Cellular Automata. Luniver Press, UK, pp. 55-71.

Schiff, J., 2007. Cellular Automata A Discrete View of the Word. Wiley Series in Discrete Mathematics & Optimization, USA, 252 p.

Sheldon, M.R., 2006. Simulation. Elsevier Publication, USA, 312 p.

Soetaert, K., Herman, M.J.P., 2009. A practical Guide to Ecological Modeling. Springer Publication, Netherland, 372 p.

White, R., Engelen, G., 1993. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land use patterns. Environment and Planning, Volume 25, 1175-1199.

Woolfson, M.M., Pert, G.J., 1999. An Introduction to Computer Simulation. Oxford University Press, USA, 328 p.

www.SID.ir

Archive of SID

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵ صفحه ۹۹۶

Designing and Developing Cellular Automata Simulator (CAS) Software for Environmental Applications

Ali Khatibi[1], Amir Hossein Hamidian[2*]

[1]B.Sc. Student, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

[2]Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Received: 20-Feb.-2015 Accepted: 12-Sep-2015

Abstract

Simulation techniques are based on the application of computational methods in other subjects of science and technology. Cellular automata models are proper in the investigation of spatial and temporal distributions of various phenomena, therefore it can be applied for studying the changes related to time and space such as pollutants, ecological niches and other environmental studies. One of the downfalls of the application is that there is not a proper cellular automata software for a selected field or subject and the specialists need to develop their own software to use for at most cases in a single purpose. Also, it seems there is no learning software for cellular automata approach in academic ways. Therefore, we designed and produced a cellular automata simulation software, which can be used for environmental investigation including ecological modeling and specially for learning simulation with cellular automata as a manual and an educational technology tool.

Key words: simulation, learning, cellular automata, spatial and temporal distribution.

*Corresponding author.Tel:+98-9109774245 Email: a.hamidian@ut.ac.ir

www.SID.ir