علوم و مهندسی کامپیوتر
نشریه علمی پژوهشی انجمن کامپیوتر ایران
مجلد ۷، شماره ۱ و ۳ (الف)، ۱۳۸۸
صفحات ۱-۸
مقاله عادی

تحلیل سیستم‌های پیچیده در حیات مصنوعی مبتنی بر مدل فضای قندی

آرش رحمان[۱] سعید ستایشی[۲]

[۱]دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
[۲]دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

مطالعه سیستم‌های پیچیده در قالب کاری مستقل در سال‌های اخیر به عنوان رشته‌ای علمی و جدید در حوزه‌های تحقیقاتی جای گرفته و به عنوان مرجعی که می‌تواند زمینه‌های مختلف علمی از فیزیک تا مردم‌شناسی و از طراحی تا پیاده‌سازی را پوشش دهد، معرفی می‌شود. برای حل این سیستم‌ها و تحلیل فرایندهای جاری در آنها معمولا دو استراتژی کلی در نظر گرفته می‌شود. اول استفاده از روش‌های محاسباتی[۱]، که این در مورد سیستم‌های پیچیده‌ای که حالت‌های عددی/ شمارشی و یا تابعی دارند معمول است. اخیرا استفاده از هوش مصنوعی بعنوان روش مطمئن دیگری برای تحقق نیازهای مطرحه معمول شده است. نظر به مشکلات تحلیل کلاسیک این سیستم‌ها، استفاده از روش‌های اتوماتیک در محیط مصنوعی که در آن عوامل محاسباتی بدون اعمال اراده انسانی، براساس انتظاری که از سیستم وجود دارد به صورت خود سازمانده[۲] عمل نموده و با اعمال قوانین مجاز در محیط، تحلیل آن را به انجام می‌رساند، مطرح می‌باشد. همچنین استفاده از مدل فضای قندی اطلاعاتی را در اختیار کاربر می‌گذارد که متضمن نمادی کامل از مشخصات سیستم است. در این مقاله مدل فضای قندی بعنوان یکی از مدل‌های مطرح در جوامع مصنوعی و بعنوان نزدیکترین مدل به زیر ساخت‌های جوامع بشری و در جهت توسعه آنها معرفی و استفاده از آن برای تحلیل سیستم‌های پیچیده در حیات واقعی توصیه شده است.

کلمات کلیدی: حیات مصنوعی[۳]، جامعه مصنوعی[۴]، محاسبات پیدایشی[۵]، مدل فضای قندی[۶]، سیستم‌های پیچیده[۷].

۱- مقدمه

نظر به اینکه هر نظام دارای ترکیب سیستمی (مجموعه قسمت‌های مرتبط با هم) [۱] از یک بخش عملیاتی (مجموعه قوانین و شرایط لازم برای فعالیت آن) و از یک بخش کنترلی (مجموعه اقدامات لازم برای تحلیل آن) برخوردار می‌باشد، می‌تواند در یکی از دو دسته ساده یا پیچیده قرار گیرد. اولی مانند یک پاندول ساعت است که از یک جزء ساده تشکیل شده و دومی مانند یک سیستم اجتماعی است که از موجودیت انسان‌ها و یا عواملی که موقعیت‌های غیرخطی دارند تشکیل شده است.

در این راستا یک سیستم پیچیده را می‌توان مجموعه‌ای دانست که از مولفه‌های بسیاری که دارای رفتار پیدایشی (رفتار کلی که از رفتار بخش‌ها گرفته نمی‌شود) هستند شکل گرفته و از رفتار اجزاء آن به رفتار کلی‌اش بسادگی نمی‌توان پی برد. سیستم‌های پیچیده دارای خصایص و مشخصاتی هستند که برای مطالعه آنها نیاز به وجود مدلی برای تحلیلشان می‌باشد [۲].

برای مثال هنگامیکه صحبت از فرایندهائی اجتماعی نظیر رفاه اجتماعی، داد و ستد، تبادل فرهنگ، انتقال بیماری، مراقبت‌های بهداشتی و ... می‌شود، روبروئی با سیستم‌هایی صورت می‌گیرد که از حداکثر پیچیدگی برخوردارند و امکان تحلیل آنها و در نهایت تعیین یک تابع ریاضی برای تقریب رفتارشان غیر ممکن است. در مواردی، حتی اگر رفتارشان با روش‌های موجود نمونه‌برداری شود، هنگام مواجه شدن با حالت‌های غیر خطی، امکان تطابق با توابع ریاضی شناخته شده موجود برای برخی از آنها وجود ندارد. بنابراین، بدلیل ذات غیرخطی و دینامیک حاکم بر آنها، تحلیلشان یکی از پیچیده‌ترین مسائلی است که بشر در حیات واقعی با آن روبرو بوده و همواره بدنبال مدلی برای حلشان در حیات مصنوعی است. برای اینکار

مقاله حاضر به بیان مدل فضای قندی [۳، ۴] در محیط حیات مصنوعی برای حل برخی از مسائل پیچیده پرداخته و آن را بعنوان یکی از کاملترین مدل‌های مطرح در جامعه مصنوعی و حتی شاید نزدیکترین مدل به جامعه بشری، برای تعامل با معضلات موجود در نظام های اجتماعی و در جهت توسعه و ارتقاء آنها معرفی نموده است.

سازماندهی مقاله بصورتی است که در ابتدا سیستم‌های پیچیده و سپس حیات مصنوعی و تکامل در آن شرح داده شده و سپس جامعه مصنوعی و مدل فضای قندی تشریح می‌گردد. در بخش آخر دلایل استفاده عملی از این مدل عرضه و در انتها نیز از بحث نتیجه‌گیری شده است.

۲- سیستم‌های پیچیده

بنا بر تعریف، سیستم‌های پیچیده، سیستم‌هایی هستند که از مولفه‌های بسیاری شکل گرفته و دارای رفتاری پیدایشی (ضروری) می‌باشند. از رفتار اجزائشان بسادگی نمی‌توان به رفتار آنها پی‌برد. با اطلاعاتی که رفتار سیستم را توصیف می‌کند، پیچیدگی آن اندازه‌گیری می‌شود. مفهوم رفتار پیدایشی ناظر بر آن است که رفتار کلی از رفتار بخش‌ها گرفته نمی‌شود. به عبارت دیگر رفتار جمعی از رفتار بخش‌ها غیرقابل فهم است [۲].

دولت‌ها، خانواده‌ها، انسان‌ها، دیدگاه‌های روانی اشخاص، اکو سیستم‌های جهان(بیابان، جنگل، اقیانوس)، هوا و ... نمونه‌هایی از سیستم‌های پیچیده هستند. در تشریح یک نمونه از این سیستم‌ها مثلا خانواده می‌توان گفت؛ خانواده مجموعه‌ای است از افراد که در آن هر شخص با افراد دیگر رابطه دارد. در آنجا افراد تأثیر متقابل بر یکدیگر دارند. خانواده مجبور است با دنیای بیرون رابطه (تأثیر متقابل) داشته باشد (تعامل با دنیای خارج). از انواع خانواده‌ها می‌توان خانواده تکی و خانواده گسترده را نام برد. این توصیف روی هدف، ساختار و ابزار گوناگون متمرکز می‌شود. می توان نقشی را که زمان در سیستم‌های پیچیده بازی می‌کند را نیز در نظر داشت. بین مشخصات سیستم‌های پیچیده، تغییر، رشد و مرگ و احتمالاً جزئی از چرخه عمر قابل احراز است. با ترکیب زمان و محیط می‌توان به توانایی سازگاری سیستم‌های پیچیده اشاره کرد.

به طور کلی سیستم‌های پیچیده دارای چهار خصیصه هستند که در توصیف آنها بایستی مد نظر قرار گیرند، این خصایص عبارتند از:

۱. فضا: که مشخصات ساختاری سیستم‌های پیچیده را مشخص می‌کند، بسیاری از سیستم‌های پیچیده زیربنائی دارند که در طی آن گسترش می‌یابند.

۲. زمان: که طول مدت پردازش فرآیندهای پویا در سیستم‌های پیچیده را در بر می‌گیرد.

۳. خود سازماندهی در مقابل سازماندهی با طراحی: که این مورد به چگونگی شکل گیری سیستم‌های مختلف مربوط می شود. اینکه چه فرآیندهائی دینامیکی بوده و باعث پیشرفت سیستم‌های پیچیده می شوند، به این خصیصه مربوط است. بسیاری از سیستم‌های پیچیده به عنوان بخشی از شکل گیریشان دستخوش فرایندهای توسعه‌ای هدایت شده می‌شوند.

۴. پیچیدگی: که برای ایجاد یک درک کمی از آن، از دو ابزار فیزیک آماری و اطلاعات تئوری علم کامپیوتر و نظریه محاسبات استفاده می‌شود. بر طبق این نظریه، پیچیدگی، مقدار اطلاعات لازم برای توصیف یک سیستم است.

پس از توصیف سیستم‌های پیچیده، گام دوم شناخت آنها است. برای اینکار بایستی لیستی از مشخصات آنها را ایجاد و هر یک از معیارهای مرتبط را تعیین و طبقه‌بندی نمود. این اولین مرحله به سمت کمی کردن این سیستم‌ها است. به طور کلی مشخصات اصلی سیستم‌های پیچیده عبارتست از:

- عناصر
- کنش‌های متقابل (تعاملات)
- شکل‌گیری/ عملیات (و مقیاس‌های زمانیشان)
- تنوع/ گوناگونی
- محیط و نیازهای خودشان
- عملیات (و اهدافشان)

در جدول (۱) نمونه‌هایی از سیستم‌های پیچیده و مشخصات مربوط به آنها آورده شده است [۲].

جدول ۱- سیستم‌های پیچیده و برخی از مشخصاتشان [۲]

سیستم	عنصر	عمل متقابل	شکل‌گیری	فعالیت
پروتئین	اسیدهای آمینه	پیوندها	بهم آمیختن پروتئین	تولید آنزیم
سیستم عصبی شبکه‌های عصبی	رشته مغزی	تماس عصب‌ها	یادگیری	رفتار فکر
حیات	موجودات زنده	تولیدمثل رقابت شکار کردن ارتباطات	تکامل	بقا تولیدمثل مصرف دفع
انسان اقتصاد و جامعه	موجودات انسانی تکنولوژی	ارتباطات مقابله همکاری	تکامل اجتماعی	بقا تولیدمثل مصرف دفع اکتشاف

زمانیکه اثر متقابل فی مابین اجزاء یک سیستم پیچیده وجود دارد درک رفتارشان ضروری بوده و نگاه کردن به اجزاء آنها و تنها بصورت مجزا مناسب نیست. لازم است که به اجزاء با دیدی کلی نگاه شود. یک سیستم پیچیده نسبت به محیط اطراف خود تاثیر متقابل دارد و این تاثیر زیست محیطی در توصیف رفتار آن مهم است. روش‌های تحلیلی نظری مانند شیوه استفاده از میانگین پارامترهای یک سیستم ما را به مطالعه مفهومی قادر می‌سازد.

رفتار سیستم‌های پیچیده ممکن است وابسته به اطلاعات بخش‌های مستقل (پارامترها) زیادی باشد. اندازه‌گیری و نرمال‌سازی برای شناسائی روابط پارامترها در اینگونه سیستم‌ها امکان دارد. در این چالش رویکردهای مبتنی بر اطلاعات، قرار گرفتن تمامی پارامترها را به عنوان هدف مطالعه، ملاحظه و بررسی می‌نماید. شبیه‌سازی‌های کامپیوتری تعداد زیادی از پارامترها را در اینگونه سیستم‌های پیچیده در نظر می‌گیرد و در مطالعه فرایندهای پویا استفاده می‌کند.

به طور کلی دو روش عمومی برای مطالعه سیستم‌های پیچیده وجود دارد:

۱- در ابتدا سیستم را مشخص نموده و هر یک از بخش‌ها و تعاملات موجود در آن را شناسایی و شرح داده تا در نتیجه هدف نمایان و مشخص و از آن، رفتار کلی سیستم حاصل شود.

۲- کلاسی از سیستم‌ها (بطور جمعی) در نظر گرفته شده، جائیکه خصوصیات ضروری کلاس مورد نظر شرح داده می‌شود، تحلیل آماری لازم برای بدست آوردن خصوصیات و رفتارهای آن صورت گیرد.

می‌توان سیستم‌های پیچیده را از طریق اتفاقی که از حذف بخشهایشان حادث می‌گردد، توصیف کرد. دو امکان طبیعی در این زمینه وجود دارد؛ اول آنکه بخش‌ها از یکدیگر متاثر هستند اما نتیجه متاثر نیست. دوم اینکه با حذف یک

بخش نتیجه متاثر می‌شود. امکان دوم مورد قبول‌تر بوده و مدل درست‌تری از سیستم‌های پیچیده را بدست می‌دهد [۲].

با توجه به بحث کلی بعمل آمده در قبال چگونگی توصیف، شناخت مشخصات، مطالعه و بررسی سیستم‌های پیچیده، نکته حائز اهمیت آن است که بشر همواره به دنبال تحلیل فرایندها از طریق این سیستم‌ها در اطراف خود می‌باشد. بهینه‌سازی فرایندها در سیستم‌های پیچیده، یک موضوع متمرکز تحقیقاتی در بسیاری از رشته‌ها و یک مفهوم مهم در توصیف صفات اختصاصی سیستم‌های پیچیده است. کاربردهای مشهود و مهم این مسئله نوعا در طراحی ، پیش بینی ساختارها و بهینه سازی انواع مختلف سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی و سیاسی است. بنابراین مهمترین و اساسی‌ترین مقوله مطرح در مورد سیستم‌های پیچیده، بحث بهینه‌سازی در آنها است.

۳- حیات مصنوعی و تکامل در آن

واژه مصنوعی در عبارت "حیات مصنوعی" بر این امر تأکید دارد؛ سیستمی که در نهایت تولید می‌شود، ساخته دست بشر بوده و توسط طبیعت در خلال تکامل بوجود نیامده است. در چنین حیاتی، تکامل محور پژوهش بوده و حیات توسط تئوری تکامل تبیین می‌شود. در این چرخه در آغاز عوامل با ویژگی‌های معمولی تولید و با زندگی در محیط مصنوعی تحت تأثیر تکامل محیط رشد کرده و مصرف انرژی را در محیط بهینه می‌کنند [۲، ۵، ۶].

حیات مصنوعی از روند پائین به بالا[۸] استفاده می کند. از یک واحد تک عنصری آغاز و در هر گام توسط تکامل، خود را به سمت جلو و توسعه و حصول به هدف نزدیک می‌کند. تکامل در پایداری عامل‌ها در محیط مصنوعی تأثیر دارد. رفتار عامل در محیط، نشأت گرفته از خواص ژنتیکی عامل می‌باشد و بر روی ژن عامل‌های دیگر نیز تاثیر می‌گذارد. این تأثیر بصورت صفات وراثتی به فرزندان عامل منتقل می‌شود. بنابراین می‌توان تشخیص داد که چه عامل‌هایی از نظر ژنتیکی بهتر می‌باشند.

تکامل، امکان سازگاری با محیط پویا را ارائه می‌دهد و در این جهت سودمند است. بدین ترتیب وقتی عامل با شرایط پیش‌بینی نشده روبرو می‌شود، می‌تواند پایدار بماند که این سازگاری با شرایط جدید است. در خصوص اهمیت تکامل در جهان مصنوعی بایستی گفت که در این جهان هر نسل از اعمال عملگرهای ژنتیکی بر روی نسل گذشته‌اش بوجود می‌آید. این عملگرها در بیولوژی، جهش[۹] و انتخاب[۱۰] نامیده می‌شوند. حیات مصنوعی به رفتارهای طبیعی و ساده که بقا را در محیط‌های پیچیده تضمین می‌کند، می‌پردازد.

به فرض والدینی برنامه تولید فرزند خود را طوری طراحی کنند که مخلوطی از خواص ژنتیکی آنها همراهش باشد. این روال از انتخاب و تولید مثل تا زمانیکه نسل بعدی شکل می گیرد ادامه پیدا می‌کند.

اگر جمعیتی شامل مخلوقات مختلفی باشد که شانس بقائشان بسته به درجه برتری آنها باشد، مخلوق بهتر از احتمال بالاتر بقا برخوردار بوده و در نتیجه جمعیت از مخلوقات بهتری تشکیل خواهد شد. معیار برتری در یک حیات مصنوعی می‌تواند توسط سازنده تعریف و تعیین شود.

محاسبات تکاملی، تجریدی از حیات مصنوعی است. مباحث مربوط به محاسبات تکاملی و حیات مصنوعی از این ایده نشأت گرفته که چگونه یک "راه حل محیطی" بایستی به محیط ارائه شده، و این که کدام "راه حل‌ها" باید دوباره تولید، و این که چگونه این "راه حل‌ها" یا "عامل‌ها" بایستی مجدداً تولید، و اینکه چه "راه حل‌ها" و یا "عامل‌هایی" در محیط بایستی از بین بروند.

بنابر نتایج بدست آمده از مطالب فوق می‌توان آموخت که سیستم‌های پیچیده‌ای که در حیات واقعی قابل کنترل و مهار شدن نیستند می‌توانند در حیات مصنوعی در یک محیط بسته و محدود از صفر تا یک بگونه‌ای مطرح شوند که بتوان با در نظر گرفتن متغیرها، پارامترها، قوانین و شرایط لازم در این محیط آنها را مدلسازی و شبیه‌سازی نمود. آنگاه با تغییر پارامترها و شرایط و تکرار انجام آزمایشات، مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها، امکان شناسایی، بهینه‌سازی، ساخت تئوری، تست، اصلاح ، باز مهندسی و ... را از سیستم در حیات مصنوعی فراهم نمود. گرچه ذکر این نکته لازم است که بازگرداندن نتایج حاصله از محیط مصنوعی (حیات مصنوعی) به محیط واقعی (حیات واقعی) ممکن است با خطاهایی همراه باشد، اما همگرایی در حد قابل قبولی است. زیر مجموعه‌ای از حیات مصنوعی که در آن بیشتر مسائل پیچیده موجود در جوامع بحث می‌شود، مدل جامعه مصنوعی است که در ذیل مطرح می‌گردد.

۴- جامعه مصنوعی

مدل مبتنی بر عامل فرآیندهای اجتماعی، جامعه مصنوعی نامیده می‌شود. در این روش ساختارهای بنیادین اجتماعی و رفتارهای گروهی در اثر تعامل عامل‌های فعال با محیط و با یکدیگر تحت قوانین خاصی که بر روی اطلاعات و قابلیت‌های محاسباتی هر عامل تأثیر می‌گذارد بوجود می‌آید. در تفکر برخی، جامعه مصنوعی یک سیستم گسسته دینامیک است، که در آن بردار A تمامی حالات داخلی عامل‌ها و بردار E تمامی حالات محیطی عامل‌ها را نشان می‌دهد. این سیستم در قالب یک دینامیک چند بعدی با محیط در تعامل بوده و روابط مربوط به این تعامل به صورت ذیل نمایش داده می‌شود [۳]:

$$A_{t+1} = G(A_t + E_t) \quad (۱)$$

$$A_{t+1} = F(A_t + E_t) \quad (۲)$$

که در آن $G(t)$ و $F(t)$ توابعی برداری هستند که فضای تمامی حالات در زمان t را به همان فضا در زمان $t+1$ نگاشت می‌کنند.

جامعه مصنوعی مدلی است کامپیوتری [۳]، شامل جمعیتی از عامل‌های مستقل که دارای محیط مجزایی بوده و در آن عامل‌ها زندگی می‌کنند. عامل‌ها اشخاصی مصنوعی هستند که در جامعه شبیه‌سازی شده‌اند. هر عامل خصوصیاتی ژنتیکی را دارا می‌باشد که از طرف والدین به او به ارث رسیده و در زندگی‌اش پایدار شده است. همچنین برای هر عامل خصوصیاتی فرهنگی وجود دارد که به صورت "عمودی" از اولیا به بچه‌ها انتقال می‌یابد. این خصوصیات بصورت "افقی" از طریق ارتباط با عامل‌های دیگر قابل تغییر است. همچنین در این محیط برای عامل‌ها نیز قوانینی رفتاری وجود دارد. برای مثال، قانون جابجایی یا حرکت در محیط که براساس آن عامل‌ها در محیط حرکت می‌کنند، به یکدیگر مرتبط و با یکدیگر تعامل برقرار می‌کنند. بر همین مبنا، قوانینی نظیر؛ تولید مثل جنسی، جنگ (برخورد)، داد و ستد، انتقال بیماری، تبادل فرهنگی و وراثت در محیط اعمال می‌شود. همچنین در این محیط عامل‌ها دارای خصوصیاتی نظیر، سطح دید، متابولیسم، سن، فرهنگ، دارایی و سلایق اقتصادی‌اند که معمولاً در محیط از هر عامل به عامل دیگر این خصایص بصورت متفاوت دیده می‌شود. در یک محیط اینچنینی جامعه مجازی، ناهمگن (نامتجانس) و پر از تنوع و تفاوت‌ها است [۳، ۷].

۵- مدل فضای قندی

بنابر تعریف عناصر اصلی در فضای قندی عبارتند از: الف) عوامل ب) قوانین ج) محیط یا فضا د) قند (منبع). این عناصر ذیلا به طور مبسوط شرح داده می‌شوند [۳، ۶، ۸] :

الف) عوامل[۱۱]: به اجزایی که در این فضا زندگی می‌کنند، گفته می‌شود و شامل: افراد، جمعیت محیط و یا نهادهایی هستند که رفتارهای انسانی را (حتی بصورت جزئی) شبیه‌سازی می‌کنند، در ادامه جزئیات بیشتری از آن بحث می‌گردد.

ب) قوانین[۱۲]: برای این نهادها (عامل‌ها)، قوانین و یا حالاتی برای زندگی و بقاء در محیط وجود دارد. قوانین رفتاری عامل در محیط قندی متناسب با نیازها می‌تواند دستخوش تغییر شود.

دو دسته قوانین عمده در محیط قندی وجود دارد: ۱) قوانین حاکم بر عامل ۲) قوانین حاکم بر محیط

با توجه به اینکه قوانین مختلف باعث ایجاد رفتارهای مختلف می‌شوند، اجرا شدن آنها با ترتیب‌های مختلف نیز باعث تغییر رفتار عامل‌ها می‌شود و لذا نتایج شبیه‌سازی همواره تغییر خواهد کرد. بنابراین برای داشتن یک شبیه‌سازی معتبر و قابل اطمینان علاوه برداشتن مجموعه قوانین مثل هم برای همه عامل‌ها، باید عامل‌های مجموعه قوانین، با یک ترتیب درست یکدیگر را دنبال کنند.

ج) محیط یا فضا[۱۳]: در محیط قندی هیچ توپولوژی ثابتی برای محیط وجود ندارد، اما می‌توان یک شبکه دو بعدی (اتوماتای سلولی دو بعدی) از یک اندازه را تعریف نمود. به عبارت دیگر محیط در فضای قندی می‌تواند به شکل جدولی در نظر گرفته شود که در هر خانه آن قند، عامل، هیچکدام و یا هر دو آنها وجود داشته باشند.

د) قند (دارایی یا منبع)[۱۴]: قند یک منبع عمومی شده است که عامل‌ها بایستی برای بقاء آن را بخورند. منابع قندی، دارایی (ثروت) را مشخص می‌کند. در حالت اولیه، توزیع قند در محیط می‌تواند بصورت تصادفی در مکان‌های مختلف فضا با یک توزیع احتمالی معین از بین یک محدوده مشخص، صورت پذیرد. قند در هر مکان می‌تواند با یک نرخ مشخص در جهت رسیدن به ظرفیت حداکثر، مجدداً تجدید شود.

عامل‌ها در این فضا بصورت تصادفی شروع به کار می‌کنند. در موقعیت اولیه، دارایی و تمامی حالت‌های داخلی آنها بصورت تصادفی از یک محدوده مشخص توزیع می‌شود. در مجموعه وضعیت‌های داخلی، یک زیر مجموعه (از وضعیت‌های داخلی) در سراسر طول مدت زندگی عامل بدون تغییر باقی می‌ماند و در عین حال زیر مجموعه دیگری از آن وابسته به زمان است. بعلاوه، برخی از این وضعیت‌ها محلی و برای هر عامل (متفاوت)اند و برخی دیگر عمومی (مشترک)اند. مجموعه وضعیت های محلی مستقل از زمان عامل عبارتند از: دارایی اولیه (در واحدهای قند)، حداکثر طول عمر، سطح دید و نرخ متابولیسم.

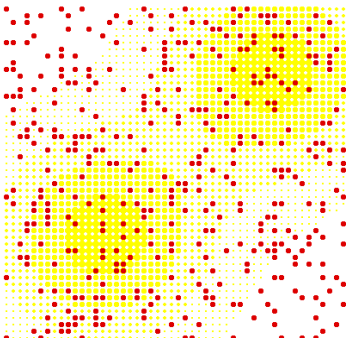
مجموعه وضعیت‌های سراسری مستقل عامل عبارتند از: مدت زمان لازم برای بالا بردن سطح دید و آستانه فقر (=۰) و مجموعه وضعیت‌های وابسته به زمان محلی عامل عبارتند از: موقعیت عامل در محیط، سن و دارایی واقعی در واحدهای قندی. عامل‌ها قوانین محلی را به طور همزمان بهنگام جستجویشان برای قند اجرا می‌کنند. حرکت سراسری جمعیت یک نتیجه پیدایشی از فعالیت‌های محلی ساده اجرا شده بوسیله عامل‌ها می‌باشد.

در شبیه‌سازی بوسیله کامپیوتر، این مدل شامل یک اتوماتای سلولی است. یعنی دارای یک توپولوژی ثابت است که تغییر نمی‌کند. این توپولوژی در قالب بیان زیر تحقق می‌یابد [۳]:

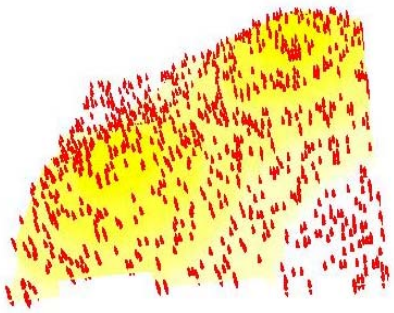
مدل فضای قندی =Cellular Automata+ Agents+ Sugar+ Rules (۳)

بعبارت دیگر مدل فضای قندی را می‌توان یک اتوماتای سلولی دو بعدی در نظر گرفت که هر نقطه از آن مختصات (x,y) را به خود اختصاص می‌دهد. برای هر نقطه از این فضا یک سطح قندی[۱۵] و یک ظرفیت قندی[۱۶] در نظر گرفته می‌شود. ظرفیت قندی ماکزیمم مقدار قندی است که می‌تواند از هر نقطه این فضا برداشته (خورده) شود. در این فضای دو بعدی، برخی نقاط فاقد قنداند (بیابان یا سطح قندی صفر) و ظرفیت پائینی را هم دارا می‌باشند. برخی دیگر از نقاط فاقد قنداند اما ظرفیت بالایی را دارا هستند (این مورد هنگامی پیش می‌آید که عامل‌ها همه قند آن نقاط را مصرف می‌کنند). برخی دیگر از مکان‌ها ممکن است ثروتمند قندی و دارای ظرفیت قندی بالا باشند.

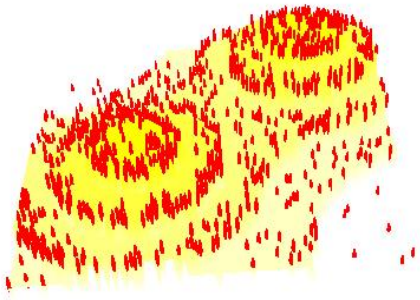
این فضا توسط یک برنامه کامپیوتری توزیع سطح قند و ظرفیت قندی مکان‌های فضا مشخص می‌گردد. این فضا در برگیرنده عوامل و منابع انرژی است و می‌تواند چون یک آرایه ۵۰×۵۰ که در آن عامل‌ها فعالیت می‌کنند در نظر گرفته شود. با توجه به تعریف آرایه‌ای از فضا، می‌توان گفت: که عنصر پایه‌ای محیط (فضا) "سلول" است و هر فضا از تعداد ۵۰×۵۰ سلول تشکیل شده است، قوانین بر روی آن اعمال می‌شود و اجازه می‌دهد عامل‌ها آن را اشغال کنند. در سلول علاوه بر قند عامل‌های دیگری هم می‌تواند وجود داشته باشد. مقدار قند درون سلول می‌تواند مطابق نرخ رشد از قبل تعریف شده، رشد کند و هر عامل می‌تواند برای یافتن قند آن را جستجو نموده و یا در آن تولید نماید [۳، ۶، ۸].



شکل ۱- مدل فضای قندی در محیط دو بعدی به همراه عامل‌های موجود در آن [۳]



شکل ۲- مدل فضای قندی در محیط سه بعدی به همراه عامل‌های موجود در آن [۹]



شکل ۳- مدل فضای قندی در محیط سه بعدی و حرکت و تجمع عامل‌ها در اطراف قله‌های قندی [۹]

در اشکال ۱، ۲ و ۳ مدل فضای قندی همراه با عامل‌های موجود در آن با مقدار قند فراوان در جائیکه ماکزیمم الگو (رنگ زرد) را به خود اختصاص داده است، مشاهده می‌گردد.

در یک مدل جامعه مصنوعی مؤلفه‌های ذیل متصور می‌باشند [۱۰، ۱۶]:

۱) مجموعه‌ای از فرضیات[۱۷]
۲) مجموعه‌ای از اجراها[۱۸](R)
۳) مفروضات ارائه شده بوسیله برنامه‌های[۱۹] (A)
۴) اندازه‌گیری‌ها یا مشاهدات[۲۰](o)
۵) مجموعه‌ای از تفسیرها یا تعاریف[۲۱](E)
۶) مجموعه‌ای از فرضیه‌ها یا قضایا[۲۲] (H)
۷) برخی مجموعه مورد درخواست از مشاهدات (Ó)

در این مدل A، R و O به ترتیب عبارتند از: یک برنامه کامپیوتری، مجموعه‌ای از اجراها و اندازه‌گیری‌های مشخص از R. E و H نیز که اغلب در قالب ترکیبی از زبان طبیعی بوسیله مفاهیم کیفی و آماری یا ارتباطات ریاضی داده می‌شوند، می‌توانند مد نظر قرار گیرند. E به روشن کردن فرآیندهای دینامیک موجود کمک می‌کند و ممکن است مبنای شناسایی برخی خصوصیات پیدایشی باشد. مرتبط شدن مؤلفه‌های فوق به طرق مختلف با هم، متدلوژی کار در فضای قندی را به شرح ذیل مشخص می‌نماید که عبارتند از:

۱. متدولوژی اثبات وجود[۲۳]؛ که در آن نیازی به E و H نیست و A برای تولید O کافی است (شکل ۴).

۲. متدولوژی مدلسازی رفتاری[۲۴] یا مهندسی معکوس؛ که در آن نیاز به E یا H نیست. در اینجا Ó به لحاظ کیفی یا مشاهده‌ای با O مقایسه می‌شود. بدین ترتیب واگرایی و انشعاب شکل می‌گیرد تا A اصلاح شود. این فرآیند تا زمانیکه سطح مورد تأئید آشکار شود، ادامه دارد (شکل ۵).

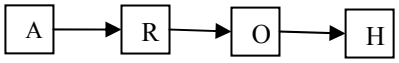
۳. متدولوژی آزمایش تئوری[۲۵]؛ که شامل ترجمه یا چکیده‌ای از برخی تئوری‌های موجود است که به E و A داده شده و سپس H با O، مقایسه می‌شود (شکل ۶).

۴. متدولوژی ساخت[۲۶] تئوری؛ که شامل چکیده‌ای است بنام T که به E و A داده شده و سپس H با O مقایسه می‌شود و در صورت نیاز E و A یا هر کدام از آنها را که اصلاح می‌شود، اصلاح می‌کند و این کار تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که سطح مورد تأئید حاصل شود. در این صورت E و A ممکن است یک غیرچکیده شده‌ای[۲۷] باشد که به طرف T می‌رود و در این صورت یک تئوری قابل آزمایش را با فرآیندهای اجتماعی واقعی تولید می‌نماید (شکل ۷).

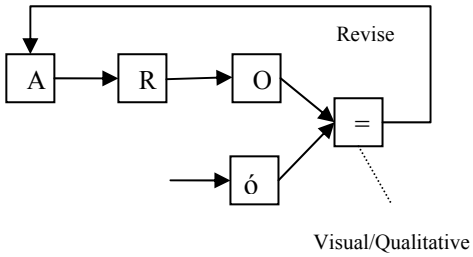
۵. متدولوژی پیدا کردن تعریف[۲۸]؛ که شامل پالایش‌های تکراری از E بر مبنای مقایسه H با O، بدون اینکه A تغییر کند، است. بسیاری از این مدل‌ها ترکیبی از محاسبه[۲۹] و مقایسه[۳۰] را در یک طریق تکراری شامل می‌شوند. فرآیند مقایسه در اینجا بصورت مشاهده و اصلاح تکراری E و A، هویدا می‌گردد. O بصورت محاسباتی از A تولید شده است اما اصلاح E و A یک فرآیند مقایسه‌ای بر مبنای آن چیزی است که در H مشاهده می‌شود (شکل ۸).

۶- استفاده عملی از مدل فضای قندی

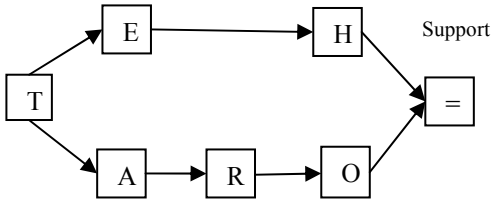
در مدل فضای قندی بررسی هر یک از سیستم‌های اجتماعی نظیر رفاه اجتماعی [۳]، آلودگی [۸]، سلامت، فرآیند بیماری‌ها [۳]، فرایندهای فرهنگی و اقتصادی نیازمند ایجاد برنامه نرم افزاری مربوط به خود است. این برنامه‌ها بایستی به گونه‌ای ایجاد گردد که اولا، تمامی شرایط و قوانین و خصوصیات مورد نیاز به درستی مطابق با واقعیت‌های دنیای واقعی در آن‌ها لحاظ و تعریف گردد، و ثانیا، برنامه‌ها بایستی به گونه ای باشند که پارامترهای مورد نیاز در آن‌ها قابل تغییر بوده تا بدین طریق بتوان با در نظر گرفتن متدولوژی‌های مطرح شده، در جهت تحلیل و بهینه‌سازی آنها اقدام به آزمایش نمود.



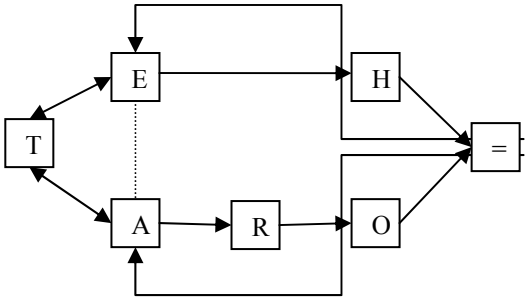
شکل ۴- اثبات وجود [۱۰]



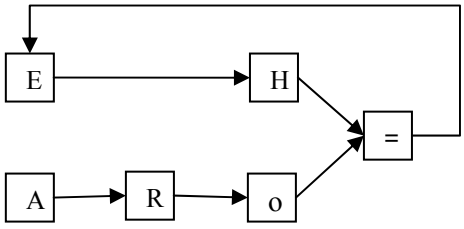
شکل ۵- مدلسازی رفتاری یا مهندسی معکوس [۱۰]



شکل ۶ - آزمایش تئوری [۱۰]



شکل ۷- ساخت تئوری [۱۰]



شکل ۸- پیدا کردن تعریف [۱۰]

برای مثال، در ارتباط با بررسی فرایندهای اجتماعی و یا اقتصادی در جامعه بایستی به دنبال تعریف آنها در جامعه مصنوعی بود [۶، ۷، ۸]. این مسئله می‌تواند دارای ابعاد مربوط به خود باشد. گرچه اصولا تمامی بخش‌های یک جامعه

مصنوعی می‌توانند بسته به موضوعات مشترک و بلحاظ تعاملات موجود در آنها دارای رویهم افتادگی‌هایی باشند. مسائل رفاه اجتماعی یا توزیع انرژی در اقتصاد مصنوعی و یا در اجتماع مصنوعی می‌توانند بررسی، تحلیل و تفسیر جداگانه شوند ولی در هر کدام از این دو موضوع می‌توان نتایج را بگونه‌ای مرتبط با موضوع دیگر تفسیر و تحلیل نیز نمود.

ایجاد هر مدل در حیات مصنوعی نیازمند تعریف قوانین جدیدی است. البته با فرض اینکه رفتار عامل‌ها و خصوصیات آنها و خصوصیات محیطی و فضا، مطابق با خصوصیات تعریف شده برای مدل قندی و به عبارت دیگر مطابق با مفروضات مطرح شده در گذشته در نظر گرفته می‌شود.

در یک کلام، در محیط مصنوعی (مدل فضای قندی) ابتدا بایستی بدنبال تعریف واضح از سیستم و تعیین مشخصات آن بود. آنگاه مطابق با مفروضات در نظر گرفته شده در مدل فضای قندی حرکت و پویایی عامل‌ها را بر مبنای قوانین و خصوصیات مطرح شده (در چارچوب نظام حیات) ممکن ساخت. البته در این محیط می‌تواند مخرب (نویز)هایی نیز وجود داشته باشد که بایستی مطابق با خصوصیات خودشان تعریف و مدل شوند.

از منظر پیاده‌سازی کار، می بایست رشته‌هایی از صفر و یک را با طول مشخص که بتواند شامل زیر رشته‌هایی نیز باشد به سیستم مورد نظر (برای مثال سیستم ایمنی عامل‌های یک اجتماع [۳]) نسبت داد. مخرب‌ها در این سیستم هم (مثلا بیماری‌ها در جامعه بشری) چیزی به جز رشته‌هایی از صفر و یک‌ها نیستند. حال در محیط متناسب با حرکت و پویایی عامل‌ها و قوانین تعریف شده (برای چگونگی تعاملات و فعل و انفعالات عامل‌ها و محیط) کدها بر یکدیگر اثر گذارده، در نهایت پس از انجام تعاملات و فعل و انفعالات برای دوره‌های زمانی آزمایش، می‌توان رفتارها را مشاهده[۳۱] و نتایج را اندازه‌گیری[۳۲] نمود و سپس به تحلیل و تفسیر در حوزه مورد نظر پرداخت. که در نهایت خروجی کار به یکی از اشکال ساخت یک تئوری، نتیجه آزمایش یک تئوری، نتایج مهندسی معکوس و یا ایجاد یک مدل بهینه در ابعاد و جنبه‌های مطرح شده منجر خواهد شد.

بسته‌های نرم‌افزاری مطرح نظیر Netlogo [۱۷]، Repast [۱۸]، Starlogo [۱۹] و Swarm [۲۰] و همچنین زبان‌های برنامه‌نویسی شی‌گراء نظیر جاوا، NET، و C++ که در حال حاضر مطرح‌اند، مناسبترین ابزارها به لحاظ ساختار، خواص و امکانات موجود در آنها برای مدلسازی‌های محیط‌های مبتنی بر عامل[۳۳] اند. اشیاء در این ابزارها داده ها و رویه‌ها را نگاه می‌دارند. بدین ترتیب هر دوی عامل‌ها و مکان‌های محیط می‌توانند بعنوان اشیاء پیاده‌سازی شوند. در این حالت حوزه‌های داده عامل، وضعیت‌های داخلی آنها را ارائه نموده (جنس، سن، دارایی) و رویه‌های عامل‌ها (روش‌ها)، قوانین رفتاری عامل را ارائه می‌نمایند (مثلاً خوردن).

۷- نتیجه‌گیری

از آنجا که در بحث اجتماع سیستم‌هایی وجود دارد که دارای پیچیدگی‌های (ابعاد، پارامترها، فعل و انفعالات و تعاملات، سیاست‌ها و قوانین و ...) زیادی هستند لذا این سیستم‌ها می‌توانند به عنوان سیستم‌های پیچیده[۳۴] مطرح گردند. از طرفی امکان تحلیل اینگونه سیستم‌ها در حیات واقعی بدلیل گستردگی، پیچیدگی و دینامیک حاکم بر آنها وجود ندارد، لذا مدلسازی و تحلیل آنها در حیات مصنوعی توصیه می‌گردد.

به عبارت دیگر می‌توان اینگونه سیستم‌ها را در حیات مصنوعی در یک محیط بسته و محدود از صفر تا یک مطرح نمود، بگونه‌ای که با در نظر گرفتن متغیرها، پارامترها، قوانین و شرایط لازم در این محیط سیستم را در محیط مصنوعی شبیه سازی نموده، آنگاه با تغییر پارامترها و شرایط و تکرار انجام آزمایشات، مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها، امکان تحلیل آنها را در حیات مصنوعی فراهم نمود. گرچه این نکته را باید متذکر شد، که بازگرداندن نتایج حاصله در محیط مصنوعی (حیات مصنوعی) به محیط واقعی (حیات واقعی) ممکن است با خطاهایی همراه باشد، اما همگرایی در حد قابل قبولی فراهم می‌باشد. مدل فضای قندی در حیات مصنوعی می‌تواند بعنوان یکی از کاملترین مدل‌ها از مدل‌های مطرح در جامعه مصنوعی و بعنوان نزدیکترین مدل به جوامع بشری، به عنوان یک راه حل برای برخی از مسائل و معضلات موجود در نظام‌های اجتماعی در جهت تولید تئوری برای توسعه و ارتقاء آنها بکار رود. در همین راستا، ضمن امکان بررسی، مطالعه و تحلیل برخی مسائل پیچیده نظام‌های اجتماعی از طریق بکارگیری مدل فضای قندی در حیات مصنوعی (مدلسازی در جامعه مصنوعی) می‌توان از آن به عنوان یک مدل کارا و یک راهکار مناسب برای تحلیل این سیستم‌ها نام برده و استفاده از آن را توصیه نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مرکز تحقیقات مخابرات ایران که این پژوهش را مورد حمایت قرار داده است قدردانی می‌گردد.

مراجع

[1] L. Whitten, D. Bentley, and K. C. Dittman, *Design Methods & Systen Aanlysis*, USA, Chicago, Irwin Professional Publishing, 1990.

[2] Y. Bar-Yam, *Dynamcis of Complex Systems*, Cambridge New England Complex Systems Institute, 1997.

[3] J. M. Epstein, and R. Axtell, *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*, Washington DC, Brookings Institution Press, 1996.

[4] T. Toma, *Communication in Artificial Society- Effects of Different Communication Protocols in an Artificial Environment*, Master's Thesis, Vrije Universitiet Amsterdam, Amsterdam, Netherlands, 2003.

[۵] آ. رحمان، و س. ستایشی، "طراحی مدل ارتقاء سلامت در یک جامعه مصنوعی از طریق بهینه‌سازی مدل گسترش بیماری در بین جمعی،" *مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی تله مدیسین و سلامت الکترونیکی*، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، ۱۳۸۵.

[۶] ن. ذونعمت کرمانی، *پیاده‌سازی تاثیر ارتباطات در جهان مصنوعی و تاثیر عملکردهای تکاملی در جهان مذبور*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، ۱۳۸۲.

[۷] آ. رحمان، و س. ستایشی، "تکامل رفتارهای اجتماعی در جامعه مصنوعی،" *مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن کامپیوتر ایران*، دانشگاه شهید بهشتی، ص ۱۲۲۷-۱۲۱۹، ۱۳۸۵.

[۸] آ. رحمان، و س. ستایشی، "مدلسازی تخریب سلامت ناشی از انتشار آلودگی در فضای قندی،" *مجموعه مقالات پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران*، مرکز تحقیقات مخابرات ایران، ص ۹۷-۹۱، ۱۳۸۶.

[9] Y. Chen, "Multi- Agent Modeling of Societal Development and Cultural Evolution," http://www.tjhsst.edu/~rlatimer/techlab06/Students/ChenPaper06.pdf, 2006.

[10] D. Hales, *Tag Based Co-operation in Artificial Societies*, Ph.D. Disertion, University of Essex, Colchester, United Kingdom, 2001.

[11] D. Hales, "Stereotyping, Groups and Cultural Evolution: A Case of Second Order Emergence?," *Proc. International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, pp. 140-155, 1998.

[12] D. Hales, "Book Review: Introduction to Artificial Life by Christoph Adami," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 4, No. 1, 2001.

[13] D. Hales, "Memetic Engineering and Culture Evolution," *A chapter in Knowledge Management, Organizational Intelligence and Learning, and Complexity*, Eolss Publishers, Oxford, United Kingdom, 2004.

[14] D. Hales, "Selfish Memes and Selfless Agents-Altruism in the SwapShop," *Proc. International Conference on Multi-Agent Systems*, pp. 431-432, 1998.

[15] D. Hales, "Artificial Societies, Theory Building and Memetics," *Proc. International Conference on Cybernetics*, 1998.

[16] D. Hales, "An Open Mind is Not an Empty Mind, Experiments in the Meta- Noosphere," *Journal of Artificial Society and Social Simulation*, Vol. 1, No. 4, 1998.

[17] *NetLogo*, http://ccl.northwestern.edu/netlogo, 2006.

[18] *Repast*, http://repast.sourceforge.net, 2007.

[19] *StarLogo*, http://education.mit.edu/starlogo, 2005.

[20] *Swarm*, http://www.swarm.org, 2007.

آرش رحمان در سال ۱۳۸۶ دکتری تخصصی (PhD) خود را در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران اخذ نمود. وی در حال حاضر استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن می باشد. رساله دکتری وی درباره بهینه‌سازی در سیستم‌های پیچیده با استفاده از اتوماتای سلولی مبتنی بر متد فضای قندی در جامعه مصنوعی نگارش یافته است. دکتر رحمان در سال ۱۳۸۸ دبیر علمی اولین کنفرانس ملی مهندسی نرم افزار ایران بوده است. وی همچنین عضو کمیته علمی بسیاری از کنفرانس‌های مطرح بوده است. دکتر رحمان در سال ۱۳۸۸ به عنوان پژوهشگر نمونه دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن انتخاب شده است. از وی تا کنون بیش از ۲۵ مقاله در مجلات علمی و پژوهشی و کنفرانس‌های مطرح بین‌المللی و داخلی از جمله مجله علمی و پژوهشی رفاه اجتماعی، مجله بین‌المللی مهندسی (IJE)، مجله بین‌المللی هوش مصنوعی و جامعه (AI & Society)، مجله مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران (IJECE) و مجله علمی و پژوهشی مدیریت سلامت به چاپ رسیده است. زمینه‌های اصلی کاری وی سیستم‌های پیچیده، حیات مصنوعی، جامعه مصنوعی، مدل فضای قندی و سیستم‌های مبتنی بر عامل می‌باشد.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:
arashrahman@yahoo.com

سعید ستایشی در سال ۱۳۷۳ دکتری تخصصی (PhD) خود را در رشته مهندسی برق و کامپیوتر از دانشگاه صنعتی نوا اسکوشیا شهر هالیفاکس کانادا (TUNS) اخذ نمود. وی در حال حاضر دانشیار دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. ایشان همچنین استاد مدعو گروه کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد. دکتر ستایشی از صاحبنظران بحث حیات مصنوعی و سیستم‌های پیچیده بوده و تحقیقات بسیاری را در این زمینه به انجام رسانیده و دانشجویان بسیاری را در مقاطع تحصیلات تکمیلی هدایت و راهنمائی نموده است. از وی تا کنون بیش از ۱۰۰ مقاله در مجلات ISI، علمی و پژوهشی و کنفرانس‌ها به چاپ رسیده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه وی در زمینه‌های هوش مصنوعی، حیات مصنوعی، کنترل هوشمند (عصبی، خبره، فازی، ژنتیک الگوریتم، اتوماتای سلولی و اتوماتای یادگیر)، پردازش سیگنال تطبیقی، مدلسازی مبتنی برعامل، جامعه مصنوعی، تکامل اجتماعی، توزیع ثروت، سیستم‌های مبتنی بر دانش و پویایی سیستم‌های پیچیده می‌باشد.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:
setayesh@aut.ac.ir

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۸۵/۹/۴
تاریخ اصلاح: ۸۹/۵/۲۶
تاریخ قبول شدن: ۸۹/۶/۱
نویسنده مرتبط: دکتر آرش رحمان، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

---

[1] Computational Method
[2] Self Organize
[3] Artificial Life
[4] Artificial Society
[5] Emergent Computation
[6] Sugarscape Model
[7] Complex Systems
[8] A "bottom-up" Approach
[9] Mutation
[10] Selection
[11] Agents
[12] Rules
[13] Landscape
[14] Sugar
[15] Sugar Level
[16] Sugar Capacity
[17] Assumptions
[18] RUNS
[19] Computer Program
[20] Measurments or Observations
[21] Explanations
[22] Hypotheses
[23] Existence Proof
[24] Behavior Modeling
[25] Theory Testing
[26] Theory Building

[27] De-Abstracted
[28] Explanation Finding
[29] Deduction
[30] Induction
[31] Observation
[32] Measurement
[33] Agent-Based Modeling
[34] Complex