

الگوریتم‌ها در معماری و شهرسازی

(آشنایی با الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم)

سرشناسه : برادران، امیربهادر، ۱۳۷۴-
عنوان و نام پدیدآور: الگوریتم‌ها در معماری و شهرسازی: (آشنایی با الگوریتم
بهبوده‌سازی فیزاروم) // مولفان امیربهادر برادران، محمدرضا متینی.
مشخصات نشر : قزوین: جهاد دانشگاهی، سازمان انتشارات، واحد قزوین، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری : ۱۳۳ ص.: مصور (بخشی رنگی).
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۶۶۴۷۸۷-۸

وضعیت فهرست نویسی : فیبا
یادداشت : کتابنامه: ص. [۱۳۰] - ۱۳۳.
عنوان دیگر : آشنایی با الگوریتم بهبودسازی فیزاروم.
موضوع : معماری -- طراحی -- داده‌پردازی
موضوع : Architectural design -- Data processing
موضوع : بیومیمیکری
موضوع : Biomimicry
موضوع : الگوریتم‌ها
موضوع : Algorithms
موضوع : شهرسازی -- طرح و برنامه‌ریزی
موضوع : City planning -- Design
موضوع : معماری -- جنبه‌های زیست محیطی
موضوع : Architecture -- Environmental aspects
موضوع : بهبودسازی ترکیبی
موضوع : Combinational optimization
شناسه افزوده: متینی، محمدرضا، ۱۳۴۹-
شناسه افزوده: جهاد دانشگاهی. سازمان انتشارات. واحد قزوین
شناسه افزوده: Press Organization Jahade Daneshgahi Ghazvin Branch
رده بندی کنگره: NA۸۲۷۲
رده بندی دیویی: ۲۸۴۰۲۸۵/۷۲۰
شماره کتابشناسی ملی: ۷۳۳۱۲۷۹

عنوان: الگوریتم‌ها در معماری و شهرسازی
مولفان: امیربهادر برادران، دکتر محمدرضا متینی
طراح گرافیک و صفحه‌آرایی: علی مرادی
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۶۴۷۸۷-۸
چاپ: نوبت اول - پاییز ۱۳۹۹
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
بهاء: ۳۵۰۰۰۰

مصوبه شورای شعبه انتشارات جهاد دانشگاهی قزوین

ناشر: انتشارات جهاد دانشگاهی قزوین
کلیه حقوق محفوظ است ©

الگوریتم‌ها در معماری و شهرسازی

(آشنایی با الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم)

مؤلفان:

امیربهداد برادران

کارشناس ارشد فناوری معماری دیجیتال دانشگاه تهران

دکتر محمدرضا متینی

عضو هیئت‌علمی گروه معماری دانشگاه هنر، تهران

پیشگفتار

معماری چهارراه دانش‌ها و شهر بستر بروز این امر می‌باشد. با توجه به اینکه معماری شامل طراحی می‌شود، پس نیاز به خلاقیت دارد و برای بروز آن نیز فناوری و تکنیک به کار می‌آیند. سپس برای دستیابی به تکامل به کمک نوآوری‌های علمی و ابزارها، نتیجه مطلوب حاصل می‌گردد. این ابزارها در طول زمان دستخوش تغییراتی شده‌اند که در زمینه معماری، ورود نرم‌افزارها و تفکرات بدیع طراحی منتج از آن، در کنار تحول در خواست‌ها و سبک‌رفتاری و زندگی مردم در شهرها، پایه بروز این دگرگونی‌ها بوده است.

ازجمله این تفکرات و تحولات می‌توان به دانش الهام از طبیعت در بخش‌های گوناگون در حوزه‌های معماری و شهرسازی اشاره نمود که به انسان در زمینه طراحی کمکی شایانی نمود تا بتواند ابزار بهینه و پاسخگو با شرایط موردنظر خود طراحی نماید. تکامل این بحث‌های الهام از طبیعت نیز منشأ شناخت رفتاری الگوهای موجود در طبیعت بود که منجر به بروز دانش به‌کارگیری الگوریتم‌های ملهم از طبیعت در حوزه‌های مختلف طراحی ازجمله معماری و شهرسازی گردید.

در حقیقت این الگوریتم‌ها، ملهم از الگوهای رفتاری ارگانیزم‌ها و جانداران با رفتار هوشمندانه در طبیعت هستند. الگوریتم‌ها به کمک استخراج قاعده‌ی رفتاری هوشمندانه ارگانیزم‌ها جهت دستیابی به پاسخ‌های بهینه به‌منظور حل مسائل پیچیده دنیای امروز شکل می‌گیرند.

هدف از رشد و توسعه الگوریتم‌های ملهم از طبیعت در دنیای امروز، در زمینه‌های مختلف، کمک به رفع چالش‌های موجود و رسیدن به پاسخ‌هایی منطقی و آینده‌نگر در تمام زمینه‌ها است. با توجه به این حجم از تغییرات در رفتار و تفکر انسان‌ها و حجم بالای رشد جمعیت در شهرها، امید است الگوهای و الگوریتم‌های منتج از طبیعت بتوانند مسائل را به‌درستی تحلیل کرده و کمک به رسیدن به بهینه‌ترین جواب نمایند. زیرا تجربه میلیاردها سال توسعه و تکامل طبیعت برای رسیدن به این وضع کنونی و تطبیق حداکثری با شرایط، نشان از توانایی بالای آن در بروز بهینه‌ترین پاسخ‌ها دارد.

در این نوشتار نیز تلاش بر این است تا بتوان با بررسی سیر رفتاری از الگوهای ملهم از طبیعت تا دستیابی به الگوریتم‌ها، شناختی از نحوه رفتار و عملکرد آن‌ها حاصل گردد. سپس به بررسی و معرفی الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم پرداخته خواهد شد و در نهایت جهت آشنایی بیشتر با نحوه عملکرد و روند طراحی، فرم‌یابی شبکه راه‌آهن شهری تهران به‌عنوان یک ساختار پیچیده و با اهمیت انجام خواهد گرفت.

شهریور ۱۳۹۹

امیربهادر برادران

دکتر محمدرضا متینی

مقدمه ۱

تقدیر و تشکر ۴

فصل ۱: اهمیت الهام از طبیعت ۶

۱-۱. اهمیت موضوع ۸

۲-۱. آموختن از طبیعت ۱۰

۳-۱. ساختار شهر و الگوهای زیستی ۱۲

۴-۱. به کارگیری الگوها و الگوریتم‌ها ۱۴

۵-۱. پیشینه الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم ۱۴

فصل ۲: بررسی الگوریتم‌ها ۱۸

۱-۲. چالش‌های پیش روی کلان‌شهرها ۲۰

- ۲-۲. فواید مراکز شهری ۲۱
- ۳-۲. رابطه شهر و طبیعت ۲۲
- ۴-۲. تجربه و دانش طبیعت ۲۳
- ۴-۱-۲. نوآوری و تنوع در طبیعت ۲۴
- ۴-۲-۲. قوانین منحصر طبیعت ۲۵
- ۵-۲. بیومیمیکری ۲۶
- ۵-۱-۲. ارکان دانش بیومیمیکری ۲۷
- ۵-۲-۲. نمونه‌های موفق بیومیمیکری ۲۸
- ۵-۳-۲. بیومیمیکری و چالش‌های شهری ۳۰
- ۶-۲. دسته‌بندی و معرفی الگوریتم‌ها ۳۱
- ۶-۱-۲. الگوریتم‌های بر پایه‌ی هوش جمعی ۳۲
- ۶-۲-۲. الگوریتم‌های ملهم از بیولوژی ۳۳
- ۶-۳-۲. الگوریتم‌های بر پایه‌ی فیزیک و شیمی ۳۴
- ۶-۴-۲. دیگر الگوریتم‌ها ۳۴
- ۶-۵-۲. الگوریتم‌های تکاملی ۳۴
- ۶-۵-۱-۲. الگوریتم ژنتیک ۳۵
- ۶-۵-۲-۲. برنامه‌نویسی ژنتیک ۳۷
- ۶-۵-۳-۲. راهبردهای تکاملی ۳۸
- ۶-۵-۴-۲. تکامل متفاوت ۳۹
- ۶-۵-۵-۲. الگوریتم مزرعه شالیکاری ۴۰
- ۶-۶-۲. الگوریتم‌های هوش جمعی ۴۱

- ۶-۱-۲-۶- بهینه‌سازی ذرات جمعی ۴۲
- ۶-۲-۲-۶- بهینه‌سازی کلونی مورچگان ۴۵
- ۶-۳-۲-۶- الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی ۴۷
- ۶-۴-۲-۶- الگوریتم ازدحام ماهی ۴۹
- ۶-۵-۲-۶- الگوریتم قطره‌های هوشمند آب ۵۱
- ۶-۶-۲-۶- الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی غذای باکتریایی ۵۱
- ۶-۷-۲-۶- الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی ۵۲
- ۶-۸-۲-۶- الگوریتم کرم شب‌تاب ۵۳
- ۶-۹-۲-۶- بهینه‌سازی جستجو در گروه ۵۳
- ۶-۱۰-۲-۶- الگوریتم پرش نامنظم قورباغه ۵۴
- ۶-۱۱-۲-۶- الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم ۵۴
- ۶-۱۱-۱-۲-۶- بررسی سه آزمایش انجام‌شده با کپک لجن ۵۶
- ۶-۷-۲-۶- اکولوژی (بوم‌شناسی) ۵۷
- ۶-۱-۲-۶- بهینه‌سازی ذرات جمعی وابسته به یکدیگر (PS20) ۵۸
- ۶-۲-۲-۶- بهینه‌سازی کلونی علف‌های هرز مهاجم ۵۹
- ۶-۳-۲-۶- بهینه‌سازی بر مبنای جغرافیای زیستی ۶۱
- ۶-۳-۱-۲-۶- ویژگی‌ها ۶۲
- ۶-۲-۷-۲- نمونه‌های معماری و شهرسازی ۶۲
- ۶-۱-۲-۷- بررسی چند نمونه از بناهای ملهم از الگوهای طبیعی در زمینه معماری ۶۲
- ۶-۱-۱-۲-۷- ملهم از کلونی کندوی زنبورعسل ۶۲
- ۶-۱-۱-۱-۲-۷- برج کندوی عسل ۶۲

- ۶۵..... ۲-۱-۱-۷. برج، مزرعه لندن
- ۶۸..... ۲-۱-۷. ملهم از کلونی لانه موریانه
- ۶۸..... ۲-۱-۲-۷. خانه اکولوژیک
- ۷۱..... ۲-۲-۱-۷. گلخانه الپین دیویس، لندن
- ۷۴..... ۲-۲-۷. بررسی چند نمونه از پروژه‌های ملهم از الگوهای طبیعی در زمینه شهرسازی
- ۷۴..... ۲-۱-۲-۷. بهینه‌سازی معیارهای طراحی شهری به کمک الگوریتم ژنتیک
- ۷۶..... ۲-۲-۷. به‌کارگیری الگوریتم کلونی مورچگان به منظور شناسایی الگوهای امنیتی زیست‌محیطی در ابر شهرها
- ۷۷..... ۲-۸. جمع‌بندی

فصل ۳: فرمیابی الگوریتمیک راه‌آهن شهری ۸۰

- ۸۲..... ۳-۱. تاریخچه راه‌آهن شهری در دنیا
- ۸۳..... ۳-۲. زیرمجموعه‌های راه‌آهن شهری
- ۸۳..... ۳-۱-۲. مترو
- ۸۳..... ۳-۲-۲. تراموا
- ۸۴..... ۳-۳-۲. مونوریل
- ۸۴..... ۳-۴-۲. بهره‌وری و امتیازات مترو
- ۸۵..... ۳-۳. فرمیابی و بهینه‌سازی شبکه راه‌آهن شهری
- ۸۵..... ۳-۱-۳. اهمیت و نقش مترو در شهرهای امروز
- ۸۶..... ۳-۲-۳. روند معمول طراحی شبکه راه‌آهن شهری
- ۸۷..... ۴-۳. بررسی الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم

- ۳-۱-۴. نمونه‌هایی از به‌کارگیری کپک لجن در فرم‌یابی و بهینه‌یابی شبکه ۹۰
- ۳-۱-۱-۴. فرم‌یابی شبکه حمل‌ونقل در چین توسط کپک لجن ۹۰
- ۳-۲-۴. تخمین شبکه‌های حمل‌ونقل ۹۲
- ۳-۳-۴. رویکرد سازگاری مورفولوژیکی برای برنامه‌ریزی مسیر با الهام از کپک لجن ۹۴
- ۳-۵. جمع‌بندی ۹۶

فصل ۴: الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم ۹۸

- ۴-۱. شناخت فیزاروم پلی‌سفالوم (کپک لجن) ۱۰۰
- ۴-۲. فیزاروم و هوش آن ۱۰۲
- ۴-۱-۲. فیزاروم پلی‌سفالوم ۱۰۲
- ۴-۲-۲. هوش فیزاروم ۱۰۳
- ۴-۱-۲. یافتن بهینه‌ترین و کوتاه‌ترین مسیر ۱۰۴
- ۴-۲-۲. ساخت شبکه‌های باکیفیت بالا ۱۰۵
- ۴-۲-۳. سازگاری با محیط‌های متغیر ۱۰۶
- ۴-۲-۴. به خاطر سپردن و یادگیری ۱۰۶
- ۴-۲-۵. محاسبات بیولوژیکی ۱۰۷
- ۴-۲-۶. هوش توزیع‌شده ۱۰۷
- ۴-۳. منبع هوش فیزاروم ۱۰۸
- ۴-۳. روش‌شناسی توسعه مدل‌های شبکه‌ای ملهم از فیزاروم ۱۰۹
- ۴-۴. بررسی سایت (راه‌آهن شهری تهران و حومه) ۱۱۰
- ۴-۵. پارامترهای مؤثر در فرم‌یابی شبکه راه‌آهن شهری ۱۱۱

- ۱۱۱-۵-۱-۴. مطالعات برنامه‌ریزی حمل‌ونقل
- ۱۱۲-۵-۲-۴. مطالعات شهری
- ۱۱۲-۵-۳-۴. مطالعات ابنیه و بافت‌های تاریخی
- ۱۱۳-۵-۴-۴. مطالعات زیست‌محیطی
- ۱۱۴-۶-۴. شبیه‌سازی الگوریتمیک فیزاروم
- ۱۱۵-۶-۱-۴. ویژگی‌های رفتاری فیزاروم پلی‌سفالوم
- ۱۱۵-۶-۱-۲-۴. دیاگرام تصویری رفتار فیزاروم پلی‌سفالوم
- ۱۱۶-۷-۴. فرمیابی شبکه راه‌آهن شهری تهران به کمک الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم
- ۱۱۷-۷-۱-۴. وضعیت شبکه راه‌آهن شهری تهران
- ۱۲۱-۷-۲-۴. فرمیابی شبکه مترو تهران توسط الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم
- ۱۲۱-۷-۲-۱. بررسی عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم
- ۱۲۴-۷-۲-۲-۴. بررسی عملکرد الگوریتم فیزاروم در برخورد با موانع
- ۱۲۷-۸-۴. جمع‌بندی
- ۱۳۰..... منابع

مقدمه

با کمی تأمل در آمارهایی که هر ساله توسط سازمان ملل و ارگان‌های مربوطه جهانی ارائه می‌شود، می‌توان دریافت که جمعیت جهان به سرعت رو به افزایش است. در کنار این مسئله بسیاری از روستائیان و ساکنین شهرهای اقماری و حاشیه‌ای نیز در سراسر جهان دست به کوچ به سمت شهرهای بزرگ و کلان‌شهرها زده‌اند. این روند به سرعت در حال پیشروی است و اگر در زمینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیستی و غیره چاره‌ای برای آن اندیشیده نشود، می‌تواند بحران‌های بسیار بیشتری از وضع حال برای جهان ایجاد نماید. در صورتی که این رویه همچنان بدون برنامه‌ریزی و کنترل صحیح پیش رود، جهان با شهرهای با تراکم بسیار بالا، هوایی آلوده، ترافیک‌های سنگین شهری، بیماری، آلودگی‌های زیست‌محیطی جبران‌ناپذیر و بسیاری دیگر از بحران‌ها دست‌به‌گریبان خواهد شد و شاید پیامدهای آن دیگر امکان جبران را از بشر بگیرد.

از جمله مواردی که در شهرها و کلان‌شهرهای با تراکم بالا بسیار تأثیرگذار است، حمل‌ونقل عمومی است. حمل‌ونقل عمومی می‌تواند روزانه جمعیت کثیری از ساکنان را در مسیرهای مختلف جابه‌جا کرده و سبب کاهش بار ترافیکی و آلودگی‌ها و معضلات ناشی از آن گردد. اما همه‌ی این موارد زمانی قابل حصول است که برنامه‌ریزی و زیرساخت مناسبی برای این بخش در نظر گرفته شود.

شبکه راه‌آهن شهری یا همان مترو امروزه در شهرهای بزرگ یکی از اصلی‌ترین وسایل حمل‌ونقل عمومی است که با سرعت بالا، هزینه کم، آلودگی بسیار پایین و حجم بالای جابه‌جایی مسافر در هر مسیر، بسیار مؤثر و موردتوجه مردم است. بنابراین اگر به خطوط و شبکه مترو به طرز بنیادین و علمی توجه شود و مسیریابی دقیق و درستی صورت گیرد، این بخش می‌تواند بار اصلی جابه‌جایی مسافران را در شهرها به دوش کشد.

در این نوشتار نیز با نگاهی ویژه به این بخش و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های حاصل از الگوهای طبیعی تلاش بر این است تا در ابتدا بررسی دقیقی از نحوه الهام از طبیعت و عملکرد الگوریتم‌های پرکاربرد در معماری و شهرسازی صورت گیرد. سپس نحوه عملکرد و الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا شناخت مناسبی از نحوه الهام آن و رفتار این ارگانیزم حاصل گردد. درنهایت نیز الگویی مناسب برای فرم‌یابی شبکه راه‌آهن شهری به دست آید تا به‌عنوان نمونه در فرم‌یابی شبکه مترو تهران به کار گرفته شود. به‌طور خلاصه در این کتاب پس از بررسی کلیات موردنظر به جنبه‌های الهام از طبیعت، بررسی الگوریتم‌ها و به‌کارگیری آن‌ها در زمینه موردنظر پرداخته خواهد شد.

تقدیر و تشکر

سپاس فراوان از خانواده‌ام که همواره حمایت‌های بی‌دریغشان همراه و یاور من در تمام مراحل زندگی‌ام بوده است. تشکر از دوستانم که مرا در به ثمر رسیدن این کتاب یاری نمودند و اساتید بزرگوارم خانم دکتر کتایون تقی‌زاده و دکتر سعید خاقانی که چراغ راه من در رسیدن به اهدافم بوده‌اند.

و در نهایت این کتاب را تقدیم می‌نمایم به تمام کسانی که راهشان جز اعتلای علم و هدفشان جز صلح و آرامش نیست.

امیر بهادر برادران

اهمیت الهام از طبیعت

فصل ۱

۱-۱. اهمیت موضوع:

با توجه به آمارها، جهان شاهد رشد بالای جمعیت و مهاجرت افراد به سمت شهرها و به خصوص مراکز شهری و کلان‌شهرها هست (سازمان ملل، ۲۰۱۴، ص. ۱). در سال ۱۹۵۰، بیش از ۷۰ درصد جمعیت جهان در سکونت‌گاه‌های روستایی و کمتر از ۳۰ درصد در مراکز شهری زندگی می‌کردند؛ این در حالی است که در سال ۱۹۰۰، کمتر از ۱۵ درصد در مراکز شهری زندگی می‌کردند (گرومن، ۱۹۷۷). از میانه‌های قرن اخیر (قرن ۱۹)، جمعیت جهان به‌طور چشمگیری به زندگی در شهرها روی آورد که این جمعیت بیش از نیمی از جمعیت جهان بود. بر اساس بررسی‌ها و تحقیقات انتظار می‌رود تا دوسوم جمعیت مورد پیش‌بینی جهان تا سال ۲۰۵۰، برای زندگی به مراکز شهری کوچ نمایند (سازمان ملل، ۲۰۰۶، ص. ۹۳) (شکل ۱).

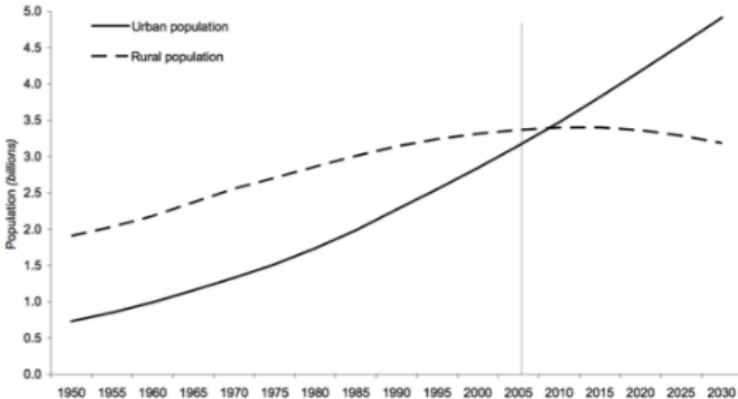
علاوه بر این، نرخ رشد تعداد کشورهایی که در حال شهری شدن بودند به‌سرعت در حال افزایش بود. در سال ۱۹۵۰، تنها ۱۵ درصد از کشورهای جهان سطح شهرنشینی بالای ۶۰ درصد داشتند. در سال ۲۰۱۴، این عدد به ۶۰ درصد رسیده و

1 - UN, 2014, p.1

2 - Graumann, 1977

3 - UN, 2006, p. 9

میزان شهرنشینی در ۲۵ درصد از کشورها به بالای ۸۰ درصد رسیده است. در سال ۲۰۵۰، هدف‌گذاری نزدیک به ۷۰ درصد از کشورها این است که به بیش از ۶۰ درصد شهرنشین و حدود ۳۸ درصد از آن‌ها هدف‌گذاری برای رسیدن به بالای ۸۰ درصد شهرنشین، به‌خصوص در آفریقا و آسیا دارند (سازمان ملل، ۲۰۱۴، ص. ۳؛ یونیسف، ۲۰۱۵).



شکل ۱: جمعیت شهری و روستایی جهان، ۱۹۵۰ تا ۲۰۳۰

منبع: سازمان ملل، ۲۰۰۶

با توجه به آمار، ۲/۵ میلیارد نفر به‌زودی به جمعیت شهرنشین‌ها اضافه می‌گردد. بدیهی است که با توجه به این حجم از رشد جمعیت و کوچ به شهرها باید شاهد افزایش و یا بروز نابسامانی‌هایی همچون افزایش کربن‌دی‌اکسید، بحران‌های زیست‌محیطی، گرمایش زمین، تراکم بیش‌ازحد در شهرها، ترافیک، مشکلات حمل‌ونقل و مواردی از این‌دست بود. از این‌رو بهتر است، گام‌هایی مناسب برداشته شود تا بتوان از بروز معضلات مختلف جلوگیری نمود. در واقع تلاش‌ها باید در راستای برقراری توازن بین مردم، فضا و طبیعت صورت گیرد تا امکان بهره‌گیری از الگوهای مناسبی در جهت رفع مشکلات فراهم گردد.

۱-۲. آموختن از طبیعت:

بیومیمیگری^۵ (تقلید از طبیعت و الگوهای زیستی) و الگوریتم‌های رشد و تکثیر حاصل از طبیعت از ابزارهایی هستند که امروزه بیش از هر چیز دیگری با توجه به رشد سریع شهرها و دو برابر شدن اندازه آن‌ها تا ۳۵ سال آینده مورد نیاز می‌باشند. کارهای بسیاری نیز در زمینه‌های خوراک، مسکن، بهداشت و درمان، رشد اقتصادی و حمل‌ونقل عمومی باید انجام گیرد تا به ظرفیت‌های مورد نیاز در زمینه‌های نام‌برده دست‌یافت. در کنار بیومیمیگری، جهت به‌کارگیری ابزار در شهرها می‌توان از الگوریتم‌های موجود در طبیعت در زمینه‌های انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری، اتصالات و ارتباطات، مقیاس‌پذیری و سلسله‌مراتب کمک گرفت.

هرم مازلو^۶ (مازلو، ۱۹۸۷، ص. ۶۷)، از نیازهای افراد، بیانگر چگونگی حرکت سلسله مراتبی انسان‌ها با شروع از نیازهای روانی‌شان و سپس امنیت و آرامش، نیاز به دوست داشتن، اعتماد به نفس و درنهایت خود شکوفایی هست. شهرها نیز به‌مانند افراد پیرو یک سلسله مراتبی از نیازها و احتیاج‌ها می‌باشند. خدمات پایه‌ای همچون غذا و آب، سرپناه، حرکت به سمت امنیت و آرامش، حس تعلق، مشارکت که درنهایت تعداد کمی از شهرها قادر به حرکت به سمت رشد و توسعه خود هستند.

جین جیکوبز^۸ معتقد بود که «شهرهای سالم؛ ارگانیک، خودجوش، شلوغ و دارای سیستم‌های پیچیده هستند». در طول زمان ذات پیچیده و ارگانیک سیستم‌های شهری تمایل به سیستم‌های طبیعی، مانند ریشه‌های درختان، مسیرهای آب و ساختارهای طبیعی شبیه زنبور عسل و صخره‌های مرجانی پیدا می‌کنند.

ظهور سلسله‌مراتب، ملاحظات طراحی مهمی برای سیستم‌های شهری به همراه داشت، زیرا سلسله‌مراتب برای هر جزء یا مؤلفه‌ای از سیستم سیال مناسب است. پیاده‌روها، خیابان‌ها، شبکه‌های راه‌آهن شهری (متروها) و بزرگراه‌های شهری، جمع‌آوری و حمل و دفع زباله، تأمین آب، تهیه غذا، انرژی، افزایش روزافزون اطلاعات، همگی تمایل به سلسله‌مراتب پویا دارند.

5 - Biomimicry

6 - Maslow pyramid

7 - Maslow, 1987, p.68

8 - Jane Jacobs

ایستادن در گوشه یک خیابان شلوغ در شهری بزرگ کمکی نمی‌کند، اما می‌توان شباهت ازدحام، شلوغی و هیاهو بین مردم با مورچه‌ها، زنبورها یا شاید گروهی از ماهی‌ها را مشاهده کرد. هر مهندسی به‌خوبی می‌تواند بزرگی و قدرت طراحی طبیعت را که حاصل هزاران یا میلیون‌ها سال تکامل است، تقلید نماید. بیومیمیکری با تقلید از طبیعت برای طراحی محصولاتمانند رنگ‌ها، تیغه‌های توربین و چسب نواری و غیره آغاز به کار کرد؛ اخیراً در زمینه طراحی شهری و مدیریت شهرها نیز از این آموزه‌های طبیعت بهره‌مند شده‌اند و به نتایج امیدبخشی دست یافته‌اند.

مفهوم «یادگیری از طبیعت»، به قدمت بشریت می‌باشد. ایده تقلید^۹ از یک مفهوم یونانی باستان به نام میموس^{۱۰} به‌عنوان جنبه‌هایی از جهان طبیعت در فعالیت‌های انسانی می‌آید (مارشال و لوزوا، ۲۰۰۹).

مهندسان همواره از طبیعت الهام گرفته‌اند؛ در اوایل ۱۴۹۸ میلادی لئوناردو داوینچی^{۱۲} از جمله مشهورترین آن‌ها بود که از فلورانس به ونیز آمد تا بر کارهایش به‌عنوان مهندس تمرکز کند و روی ایده‌ی ماشین پرنده خود کار کند.

طراحی‌های ملهم از طبیعت، به‌صورت جدی در حال ظهور هستند و بسیاری از آن‌ها به موفقیت‌های تجاری هم دست یافته‌اند، مانند الهام از باله وال برای تیغه‌های توربین بادی، کتاب الکترونیکی کوآلکوم^{۱۳} که از رنگ‌بندی بال‌های پروانه تقلید کرده، سطوح خود تمیز شونده با الهام از گل لوتوس، الهام از تپه موربانه‌ها در زمینه تهویه و گردش هوا در طراحی مرکز دروازه شرقی حراره، الهام از فرم نوک مرغ ماهی‌خوار توسط ژاپنی‌ها برای طراحی قطار شهری، نوار چسبنده ملهم از ویژگی چسبندگی دست مارمولک خانگی و بسیاری دیگر همگی از این جمله موارد می‌باشند (فوربس، ۲۰۱۱؛ فنگ، ۲۰۱۴؛ آکس ورثی، ۲۰۰۶).

9 - Mimesis Imitate

10 - Mimos

11 - Marshall and Lozeva, 2009

12 - Leonardo da Vinci

13 - Qualcomm

14 - Forbes, 2011; Feng, 2014; Axworthy, 2006

۳-۱. ساختار شهر و الگوهای زیستی:

وجود سیستم حمل و نقل کارآمد و متناسب با ویژگی‌های خاص کلان‌شهرها باید در اولویت سیاست‌گذاری‌ها و اهداف مرتبط با آن باشد. زیرا شبکه راه‌ها و به‌خصوص شبکه راه‌آهن شهری در کلانشهرهای امروزی بسیار مؤثر و تعیین‌کننده، در نحوه رشد و ساختار شهرها می‌باشند. در این میان، نقش سیستم‌های حمل و نقل عمومی، به‌عنوان مهم‌ترین بخش سیستم حمل و نقل شهری، انکارناپذیر است. در حال حاضر، در میان سیستم‌های حمل و نقل عمومی موجود، سیستم حمل و نقل راه‌آهن شهری از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. ایمنی بسیار بالا، راحتی و آسایش مسافران، استفاده از سوخت پاک، کاهش مصرف انرژی، سرعت مناسب و قیمت پایین حمل مسافر در مقایسه با خودروهای شخصی از مزیت‌های راه‌آهن شهری نسبت به سایر وسایل نقلیه عمومی است (حامد خرم و همکاران).

از چندین دهه گذشته تا به امروز، در اغلب کلان‌شهرهای جهان فناوری مترو (راه‌آهن شهری) به‌عنوان یک سیستم کارآمد حمل و نقل درون‌شهری مورد استفاده قرار گرفته است. نخستین راه‌آهن شهری جهان در سال ۱۸۶۳ میلادی در شهر لندن آغاز به کار کرد و پس از آن شهرهای پاریس، بوداپست و گلاسکو به سیستم راه‌آهن شهری مجهز شدند (لی یونگ، ۱۹۲۰۰۹).

بدیهی است که دنیای امروز به‌خصوص در کلان‌شهرها با رشد جمعیت و پذیرش افراد از نقاط دیگر روبه‌رو است که در این میان توجه به مسئله حمل و نقل عمومی از اهمیت بالایی برخوردار شده است. بنابراین چه‌بهره که در پشت چنین مسئله‌ی مهمی، تفکر، تجربه، قواعد و قوانین طبیعت، به‌عنوان پایه‌ی عملیات و طرح‌ریزی قرار گیرد؛ تا بتوان حاصل چندین میلیون سال تکامل و تعامل موفق طبیعت و الگوهای زیستی را با خود و محیط پیرامون در زندگی افراد به کار بسته و در جهت تعالی، در زمینه‌های مختلف گام‌های مؤثر برداشته شود.

با توجه به موارد ذکرشده و آمارهای موجود سازمان‌های جهانی از رشد جمعیت و مهاجرت آن‌ها، نمی‌توان خود را از این ماجرا مبرا دانست. ایران از جمله کشورهای رو به توسعه می‌باشد که با رشد جمعیت و مهاجرت از روستاها به شهرها و به‌خصوص کلان‌شهرها روبه‌رو است. این موضوع برای کلان‌شهری همچون

تهران با توجه به اطلاعات موجود بسیار شدیدتر هم می‌باشد، بنابراین باید با دقت و به‌سرعت به فکر راه‌حل‌هایی برای چاره‌اندیشی و رفع مصائب موجود بود.

از جمله چالش‌هایی که کلان‌شهر تهران با آن مواجه هست، بروز مشکلاتی همچون گرما، آلودگی، تراکم بالا، ترافیک بالا در ساعات مختلف شبانه‌روز و مشکلاتی از این قبیل است که حاصل جمعیت بالای موجود در این کلان‌شهر می‌باشد. برای جلوگیری از بروز چنین نابسامانی‌هایی شاید تشویق مردم به استفاده از حمل‌ونقل عمومی بتواند گرهی بسیاری از موارد که ذکر شده را بگشاید. اما باید دانست که تشویق به استفاده باید در کنار شرایط مناسب دستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی باشد تا بتواند در راستای جذب مردم به سفر با این وسایل منجر گردد.

راه‌آهن شهری (مترو) از جمله مواردی است که می‌تواند به دلیل داشتن ویژگی‌های مثبتی همچون ایمنی بسیار بالا، راحتی و آسایش مسافران، استفاده از سوخت پاک، کاهش مصرف انرژی، سرعت مناسب و هزینه پایین جهت جابه‌جایی مسافر در مقایسه با خودروهای شخصی در جذب مسافر و کمک به بهبود نابسامانی‌ها، بسیار کمک‌کننده باشد. موردی که بسیاری از افراد را به سمت استفاده از راه‌آهن شهری سوق می‌دهد، سرعت بالا، زمان کم و هزینه پایین در جابه‌جایی بین ایستگاه‌ها در مناطق مختلف شهر می‌باشد.

به‌منظور افزایش سرعت و کاهش زمان سفر راه‌آهن شهری (مترو)، باید گام‌هایی در راستای فرم شبکه‌ها و مسیریابی صحیح آن‌ها برداشته شود. این کار سبب می‌گردد تا بتوان با انتخاب مسیرهای مناسب فضای حرکتی و دسترسی بهتری را برای راه‌آهن شهری و درنهایت استفاده‌کنندگان از آن ایجاد کرد.

قطعا بهره‌گیری از تجربه و قواعد و قوانین کارآمد برای رسیدن به نتیجه‌ای مناسب می‌تواند بسیار اثربخش باشد. بنابراین سعی بر این است تا از الگوهای رشد و تکثیر طبیعی به‌عنوان پایه‌های فکری فرم‌یابی و مسیریابی شبکه راه‌آهن شهری استفاده گردد. درواقع با استخراج قواعد و قوانین آن‌ها و مدل‌سازی شرایط رشد و تکثیرشان با توجه به عقبه‌ی بهره‌گیری از علوم زیستی و طبیعت در زندگی و علوم مهندسی، می‌توان از میلیون‌ها سال تکامل و رشد طبیعت به بهترین شکل ممکن استفاده نمود.

۴-۱. به کارگیری الگوها و الگوریتم‌ها:

با توجه به بیان نظرات و پیشبردهای موجود در زمینه علم بیومیمیکری و الگوریتم‌های حاصل از طبیعت و کاربرد آن تحت یک رویکرد جامع و نه طراحی با طبیعت، بلکه طراحی به‌عنوان طبیعت و همچنین تلاش موجود در این زمینه جهت برقراری ارتباط بین انسان و طبیعت، به جهت کاهش آسیب به الگوها و شرایط موجود زیست‌محیطی، می‌تواند گام‌های مناسبی در راه دستیابی به اصول موردنیاز برداشته شود.

همان‌طور که در موارد بالا ذکر گردیده، به کارگیری الگوها و قواعد و قوانین حاکم بر طبیعت و الگوهای زیستی می‌تواند در تمام زمینه‌ها، به‌خصوص در راستای بهبود سطح کیفیت و خدمات مورداستفاده انسان‌ها در مقیاس‌های مختلف به کار گرفته شود. به همین منظور نیز تلاش بر این است تا با به کارگیری تجربیات استفاده از اصول بیولوژیکی (در چهارچوب علم بیومیمیکری) و الگوریتم‌های حاصل از طبیعت در راستای فرمیابی و بهینه‌سازی شبکه‌های راه‌آهن شهری گام هدفمند و نتیجه‌بخش برداشته شود.

در این زمینه امروزه افراد بسیاری در حال تلاش برای برقراری ارتباط عمیق میان طبیعت و انسان در جنبه‌های مختلف هستند تا بتوانند از تکامل و هوش ذاتی طبیعت و الگوهای زیستی در زندگی بشر استفاده نمایند. از جمله بنیان‌گذاران بیومیمیکری که پژوهش‌های فراوانی در این زمینه انجام داده و مؤسس انستیتو بیومیمیکری^{۱۶} نیز می‌باشد، می‌توان به جنین بنیوس^{۱۷} اشاره نمود که «ابداع ملهم از طبیعت»^{۱۸} از جمله مشهورترین کتاب‌های وی در این زمینه می‌باشد که در سال ۱۹۹۷ میلادی به چاپ رسیده است.

۵-۱. پیشینه الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم:

در کنار علم بیومیمیکری، به کارگیری الگوریتم‌های ملهم از طبیعت نیز امروزه بحث بسیاری از محافل علمی می‌باشد. در حقیقت الگوریتم‌ها در دنیای امروز با توجه به گستردگی فضاها، معماری و شهرسازی بسیار کمک‌کننده ظاهر شده‌اند

16 - Biomimicry Institute

17 - Janine Benyus

18 - Innovation Inspired by Nature

و توانسته‌اند که به چالش‌های پیچیده بسیاری پاسخ درخور دهند. همین امر نیز سبب محبوبیت آن‌ها و به‌واسطه آن پیشرفت روزافزون آن‌ها شده است. در زمینه الگوریتم‌ها دسته‌بندی‌های بسیاری وجود دارد و الگوریتم‌های فراوانی هستند که هر یک کاربردهای مختلفی را از خود نمایش می‌دهند. در این نوشتار تلاش بر شناخت بیشتر و توسعه الگوریتمی متناسب با بهینه‌سازی و فرمیابی راه‌آهن شهری بوده است که در با توجه به نحوه عملکرد الگوریتم‌های موجود در این زمینه، از الگوریتم بهینه‌سازی فیزاروم^{۱۹} بهره گرفته شده است.

این الگوریتم ملهم از رفتار ارگانیزمی تحت نام فیزاروم پلی‌سفالوم^{۲۰} بوده که به نام کپک لجن نیز شناخته می‌شود. در این بخش اشاره‌ای به پیشینه پژوهشی و مطالعاتی این ارگانیزم خواهد شد و در بخش‌های آتی به تفصیل در مورد نحوه رفتار و عملکرد آن و الگوریتم بهینه‌سازی ملهم از آن پرداخته خواهد شد.

از جمله افرادی که از پیشگامان، شناخت و به‌کارگیری کپک لجن در زمینه مسیریابی بوده است، می‌توان به توشیوکی ناکاگاکا^{۲۱}، استاد ژاپنی دانشگاه هوکایدو اشاره کرد. او در مقالات و مطالعات فراوانی به بررسی وجوه رفتاری کپک لجن پرداخته است. ناکاگاکا در مطالعات فراوانی که در زمینه رفتار و منطق رشد این کپک لجن انجام داده توانست به شناخت مطلوبی در زمینه رشد و تکثیر آن دست یابد و راه مناسبی را برای اندیشمندان و علاقه‌مندان فراهم نمود. جدول (شماره ۱) به‌طور خلاصه به بررسی برخی از مهم‌ترین پژوهش‌های او در این زمینه پرداخته است.

پس از ناکاگاکا و در سال‌های اخیر نیز اندیشمندان دیگری از جمله اندرو آدامتزکی^{۲۲} و همکارانش در دانشگاه غرب لندن به بررسی کاربردها و توانمندی‌های دیگر کپک لجن پرداختند. در واقع آن‌ها گام‌های فراتری در زمینه شناسایی و پردازش هوش این کپک نسبت نسل قبلی خود برداشته و سعی در معرفی جنبه‌های جدیدتری از وجوه رفتاری این کپک داشتند. در همین راستا آن‌ها فیزاروم پلی‌سفالوم را به‌عنوان یک کامپیوتر بیولوژیکی معرفی کردند و از روی مدل رفتاری آن نیز یک سیستم منطق بر هوش آن شبیه‌سازی نموده و ساختند. در ادامه نیز بسیاری از توانایی‌های

19 - Physarum Optimization Algorithm

20 - Physarum Polycephalum

21 - Toshiyuki Nakagaki

22 - Andrew Adamatzky