مدل‌سازی تخصیص کاربری‌های شهری با رویکرد عدالت فضایی براساس روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه

پروانه ژاله رجبی[۱] - دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
دکتر رضا احمدیان[۲] - استادیار گروه شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران .
دکتر زهرا سادات سعیده زرآبادی - دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

چکیده
یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های برنامه‌ریزان و مدیران شهری، نحوه توزیع و تخصیص منابع و خدمات شهری به صورت عادلانه در سطح مناطق مختلف شهر برحسب نیازهای جامعه شهری است. تخصیص بهینه خدمات، ارتباط مستقیمی با برنامه‌ریزی کاربری اراضی دارد. موفقیت درعرصه برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری نیز وابسته به وجود قوانین مناسب در زمینه نحوه استفاده از زمین و همچنین استفاده از روش‌های کارآمد در تهیه واجرای طرح‌های شهری و برنامه کاربری زمین است. این مقاله با هدف ارائه مدلی بر مبنای روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه انجام گرفته است تا تخصیص کاربری‌های شهری را از منظر عدالت فضایی در سطح پلاک شهری و در طبقات هر قطعه زمین مدل‌سازی کند. به این منظور از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب و یک کد کامپیوتری در نرم‌افزار Matlab R2018a استفاده شده است. مدل بر مبنای پنج تابع هدف شامل بیشینه‌سازی سازگاری، وابستگی، دسترسی به خدمات، تنوع و تناسب فیزیکی، در طبقات و در همجواری‌ها و نیز تعداد مشخصی شرایط مورد نیاز پیکربندی شده است. از میان نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم که مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه پارتو است، یک جبهه جواب انتخاب و سپس برای انتخاب مناسبت‌ترین چینش کاربری‌ها از میان این راه‌حل‌های بهینه، روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی، برای تعیین وزن هر یک از اهداف تخصیص کاربری زمین به کار رفته است. وزن حاصل در مقادیر برازش اهداف ضرب شده و پس از اعمال روش مجموع وزن‌دار جوابی که بیشترین وزن را در جبهه جواب‌های بهینه به دست آورده، به نقشه کاربری زمین تبدیل شده و به عنوان چینش پیشنهادی ارائه گردیده است. ارزیابی کمی نتایج حاصل از تخصیص نشان داد که کاربری‌های تجاری، آموزشی، درمانی، ورزشی و فرهنگی هم از نظر سرانه و هم از نظر توزیع در سطح محلات و ناحیه مورد مطالعه به خوبی تخصیص داده شده‌اند و سطح برخورداری محلات را در محدوده مطالعه افزایش داده‌اند.

واژگان کلیدی: تخصیص کاربری زمین، عدالت فضایی، روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه، الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب.

۱ این مقاله از رساله دکتری نویسنده نخست با عنوان «توسعه الگوی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی در راستای تخصیص بهینه کاربری اراضی شهری» استخراج شده است که به راهنمایی رضا احمدیان و مشاوره زهرا سادات سعیده زرآبادی، در گروه شهرسازی دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، در حال انجام است.

۲ نویسنده مسئول مقاله: Reza.ahmadian@iauz.ac.ir

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی کاربری زمین فرایند تخصیص فعالیت‌ها یا کاربری‌های مختلف (صنعتی، کشاورزی، تفریحی و ...) به واحدهای معین زمین در یک منطقه جغرافیایی خاص یا یک مقیاس فضایی خاص است (Ligmann-Zielinska, 2016:2). اثرات منفی تخصیص نامناسب زمین مانند تخریب زیست‌محیطی، جدایی‌گزینی اجتماعی و اقتصادی (بی‌عدالتی) و پراکندگی رشد شهری همگی بر لزوم توجه به پایداری در فرایند برنامه‌ریزی کاربری زمین و تخصیص آن تأکید دارند (Cao et al. 2012: 257). تخصیص پایدار کاربری زمین، دارای ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است؛ که یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های مطرح در بعد اجتماعی آن، مفهوم عدالت است. جوهره اصلی عدالت فضایی در کاربری اراضی شهری، عدالت در توزیع و تخصیص فضایی کاربری‌هاست. در این راستا کاربری‌ها و خدمات شهری ازجمله عوامل مؤثر و مفیدند که می‌توانند ابعاد عدالت فضایی را برقرار نمایند (Dadashpoor & Alvandipoor, 2017 :68).

در تخصیص کاربری‌های شهری با رویکرد عدالت فضایی، معیارها و اهداف مختلفی در مقالات مرتبط با موضوع تخصیص کاربری زمین به کار رفته است. دسترسی به راه‌های ارتباطی و مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی (Dadashpoor et al., 2014, 2015a,b,c ، Dadashpoor& Rostami, 2012، Aminzade & Roshan, 2015)، توزیع فضایی خدمات و جمعیت (Dadashpoor et al., 2014 ، Hataminejad et al., 2014، Nazmfar, et al., 2014)، کارایی خدمات (Dadashpoor & rostami, 2012)، وابستگی فضایی (Dadash poor, & Alvandi pour, 2017)، تنوع یا کاربری‌های مختلط (Saeedi Rezvani,2014:145) و تناسب فیزیکی یک مکان برای استقرار یک کاربری خاص (Dadashpoor & Alvandipoor, 2017 : 75)، همه معیارها و اهداف تخصیص کاربری زمین با رویکرد عدالت فضایی هستند. مقالات متعدد در حوزه تخصیص کاربری زمین و عدالت فضایی، هر یک تعدادی از معیارهای یادشده را در تخصیص کاربری‌ها به کار برده‌اند. در حالی که تخصیص کاربری زمین از جمله مسائل بهینه‌سازی ترکیبی چند هدفه و غیر خطی است که باید چندین هدف به طور همزمان در نظر گرفته شوند (Porta et al. 2013:46). در این مقاله اهداف مرتبط با عدالت فضایی به طور همزمان برای بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین در نظر گرفته شده و مسئله به صورت یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه نامغلوب[1] حل شده است. این الگوریتم از پُرکاربردترین روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه فراابتکاری در حل مسائل تخصیص کاربری زمین است (Porta et al. 2013, Dai and Ratick 2014; Li and parrott, 2016, Mohammadi et al., 2015, Haque and Asami, 2011,2014).

تحقیقات زیادی این روش را در تخصیص کاربری‌ها به کار برده‌اند؛ در برخی، تخصیص کاربری زمین برای یک نوع کاربری خاص انجام گرفته است (Yoon et al,2019). در برخی دیگر تخصیص کاربری زمین در مقیاس‌های کلان و برای کاربری‌های منطقه‌ای به کار رفته است (Datta et al., 2007; Cao et al., 2011; Shaygan et al. 2013). در تعدادی از مطالعات نیز رویکرد خاصی مانند کاهش آسیب پذیری در برابر زلزله (Delaviz et al, 2016) و یا ملاحظات پایداری (Mohammadi et al., 2015; Cao et al., 2011; Datta et al., 2007, Yao et al.,2018) مد نظر بوده است. در جدول شماره ۱ علاوه بر جمع‌بندی معیارها و اهداف مختلف که در مطالعات تخصیص کاربری زمین با رویکرد عدالت فضایی به کار رفته‌اند، سنجه‌های به کار رفته در مقاله حاضر نشان داده شده است.

اهمیت پژوهش حاضر در قیاس با پژوهش‌های مشابه از حیث انتخاب تکنیک، به کارگیری تلفیقی از تکنیک‌های پرکاربرد در تخصیص کاربری زمین و بهینه‌سازی همزمان اهداف عدالت فضایی است؛ در حالی که سایر مطالعات مرتبط، ملاحظات پایداری را به طور کلی در تخصیص کاربری‌ها مد نظر قرار داده‌اند و به ابعاد مختلف پایداری نپرداخته‌اند. وجه تمایز دیگر این مقاله با سایر مطالعات انجام شده، تخصیص طیف وسیعی از کاربری‌ها و خدمات شهری است. در این مطالعه براساس مصوبه مورخ ۱۳۸۹ شورای عالی شهرسازی و معماری ایران با نام «تعاریف و مفاهیم کاربری‌های شهری و تعیین سرانه آنها» ۲۶ نوع کاربری مختلف برای تخصیص به ناحیه ٦ از منطقه ٥ طرح تفصیلی مصوب زنجان، متشکل از سه محله، با مساحت ٧٦٤ هزار و ۲۳۰ مترمربع، دو هزار و ١٦٥ قطعه زمین و با جمعیت ۱۵ هزار و ٤٤٨ در نظر گرفته شده است. این کاربری‌ها به شرح زیر هستند: بایر، مسکونی، تجاری (محله، ناحیه، منطقه-شهر)، آموزشی (محله، ناحیه، منطقه، شهر)، مذهبی (محله، شهر)، درمانی (محله، ناحیه، منطقه)، اداری (ناحیه، منطقه)، فرهنگی (ناحیه، منطقه)، ورزشی (محله، ناحیه، منطقه)، تأسیسات شهری (محله، منطقه)، صنعتی کارگاهی و پارک (محله، ناحیه و منطقه). تخصیص این طیف از کاربری‌ها به قطعات زمین در سه طبقه انجام گرفته است؛ پیشتر در مطالعه حق گو و همکاران (۲۰۱٤) تا دو طبقه کاربری زمین تخصیص داده شده بود. به‌علاوه در این مطالعه روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره با روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه در مراحل مختلف ازجمله کمی‌سازی توابع هدف سازگاری، وابستگی و تناسب فیزیکی زمین و در انتخاب جواب نهایی از جبهه جواب بهینه تلفیق شده‌اند.

۲. چارچوب نظری

بهینه‌سازی چند هدفه در تخصیص کاربری، علم چینش فضایی مطلوب، شامل شناسایی بهترین مکان‌ها برای فعالیت‌ها و منابع با توجه به اهداف و شرایط و محدودیت‌های مسئله است (Ligmann-Zielinska, 2016:1). علاوه بر تعدد اهداف مورد نظر برای تخصیص کاربری‌ها به واحدهای زمین، این اهداف چندگانه اغلب با یکدیگر در تعارض‌اند؛ مانند به حداقل رساندن هزینه‌های توسعه و آثار منفی زیست‌محیطی و به حداکثر رساندن منافع اقتصادی و اکولوژیکی (Yao et al., 2018:12). مسئله بهینه‌سازی چندهدفه[2] در قالب مدلی که شامل مجموعه‌ای از توابع هدف

1 Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)

2 multiobjective decision analysis (MODA)

جدول شماره ۱: جمع‌بندی پیشینه پژوهش در ارتباط با اهداف تخصیص پایدار کاربری زمین با رویکرد عدالت فضایی توزیعی

رویکرد	اهداف	منابع مرتبط	سنجه‌های اندازه‌گیری	سنجه اندازه‌گیری منتخب
عدالت فضایی توزیعی	دسترسی	Dadashpoor et al., 2014, 2015a,b,cAminzade & Roshan, 2015, Dadashpoor& Rostami, 2012	ساختار شهری، اهمیت خدمات/پتانسیل خدماتی، تراکم برخورداری از خدمات، فاصله از خدمات،	فاصله از خدمات
	توزیع فضایی خدمات و جمعیت	Dadashpoor et al., 2014، Nazmfar, et al., 2014, et al., 2014 Hataminejad	میزان جمعیت، مساحت کاربری‌ها/سرانه کاربری‌ها، تراکم جمعیتی و تراکم ساختمانی، تراکم فعالیت‌ها	سرانه کاربری‌ها
	کارایی خدمات	Dadashpoor & rostami, 2012	سازگاری، ناسازگاری خدمات با کاربری‌های مجاور، مجاورت با شبکه دسترسی، کشش‌پذیری به جمعیت متقاضی	سازگاری و ناسازگاری کاربری‌ها با یکدیگر
	تنوع خدمات	Saeedi Rezvani,2014	اختلاط کاربری‌ها	اختلاط کاربری‌ها
	وابستگی فضایی	Dadash poor, & Alvandi pour, 2017	-	-
	تناسب فیزیکی زمین	Alaei Moghadam et al.,2015 ، Aerts & Heuvelink, 2002; Berke & Godschalk, 2006; Jiang-Ping & Qun, 2009; Stewart et al., 2004, Masoomi et al. 2013, Taleai et al,2007, Cao et al. 2012	مساحت خدمات ، دسترسی‌پذیری، تعداد لبه‌های هر قطعه زمین، شیب، نوع مالکیت، آلودگی صدا، آلودگی هوا،مقاومت در برابر تغییر، تفاوت بین اندازه لبه‌های قطعه زمین	مساحت، دسترسی‌پذیری، تعداد بر قیمت زمین، آلودگی هوا و آلودگی صدا

و مجموعه‌ای از محدودیت‌های اعمال شده بر متغیرهای تصمیم‌گیری است، تعریف می‌شود؛ تعریف ریاضی این مسائل به صورت رابطه شماره ۱ خواهد بود:

$$maximize\ F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\}, \quad (1)$$
$$subject\ to: x \in X,$$

در رابطه شماره ۱ $F(x)$ یک تابع هدف nبُعدی است؛ $f_k(x)$ یک تابع هدف (معیار) است (k=1,2,...,n)؛ X مجموعه‌ای از گزینه‌های ممکن و x برداری از متغیرهای تصمیم‌گیری است و شامل x_1 تا x_m بوده ($x = x_1, x_2, \dots, x_n$) و برای i=1,2,...,q داریم: $x_i \geq 0$ (Malczewski & Rinner, 2015:123). بنابراین مسئله چند هدفه شامل m هدف، n متغیر و q شرط است. مدل بهینه‌سازی به طور کلی به دنبال بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی توابع هدف با در نظرگرفتن شروط مسئله بهینه‌سازی است (Huang et al., 2008:507). هدف اصلی یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه، بهینه کردن تمامی اهداف به طور همزمان است. بنابراین در مسائلی از این دست، به جای به دست آوردن یک جواب برای مسئله، مجموعه‌ای از جواب‌ها که جبهه پارتو[1] یا جواب‌های نامغلوب[2] نامیده می‌شوند، به دست می‌آیند (Alaei Moghadam et al., 2015:49). در مجموعه بهینه پارتو چون هر دو جواب از مجموعه نسبت به یکدیگر نامغلوب‌اند، با حرکت از یک نقطه (جواب) به نقطه دیگر، دست کم یک تابع هدف بهتر می‌شود و یک تابع هدف دیگر بدتر (Shaygan et al. 2013:911). به بیان ریاضی نقطه بهینه پارتو، زمانی به بردار متغیرهای تصمیم‌گیری x^* اطلاق می‌شود که هیچ بردار ممکن دیگری مثل $\mathbf{x}$ نداشته باشیم که تابع هدف آن برای تمامی kها بزرگ‌تر یا مساوی تابع هدف x^* باشد، یعنی $f_k(x) \geq f_k(x^*)$ (k=1,2,...,n) و تابع هدف آن حداقل برای یکی از kها بزرگ‌تر از تابع هدف x^* باشد، یعنی $f_k(x) > f_k(x^*)$. این بدان معنی است که x^* نقطه بهینه پارتو است، اگر هیچ بردار ممکن دیگری موجود نباشد که برخی اهداف را همزمان بدون این که زوالی در حداقل یک هدف دیگر به وجود آورد، بهبود بخشد (Malczewski & Rinner, 2015:124).

روش‌های متفاوتی برای حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه وجود دارد که به دو دسته کلی شامل روش‌های اسکالرسازی و روش‌های مبتنی بر پارتو تقسیم می‌شوند. در روش‌های اسکالرسازی، مسئله چندهدفه فضایی به مسئله خطی تبدیل شده و سپس در قالب یک مسئله بهینه‌سازی تک هدفه حل می‌شود (Kaim et al, 2018:82). روش‌های خطی کارایی زیادی در حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی و مسائل ترکیبی بزرگ مقیاس ندارند. جست‌وجوهای در سطح بسیار گسترده برای یافتن جواب‌های بهینه در مسائل بزرگ مقیاس در این روش‌ها ممکن نیست زیرا اندازه فضای جست‌وجو اغلب به صورت نمایی به موازات افزایش تعداد ابعاد مسئله افزایش می‌یابد. ماهیت برنامه‌ریزی کاربری زمین نیز چنین است. نیاز به ایجاد راه‌حل‌های سریع، افزایش اندازه مسئله و محدودیت‌های موجود در زمینه متغیرهای تصمیم‌گیری، کاربرد این روش‌ها را با مشکل مواجه می‌کند(Stewart et al., 2004). در روش‌های مبتنی بر پارتو (روش‌های فرا ابتکاری)، امکان یافتن چندین راه حل در یك اجرای الگوریتم وجود دارد. راه‌حل این روش‌ها در واقع مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه پارتو یا جبهه جواب‌های نامغلوب برای مسئله پیش رو است (Kaim et al, 2018 :83). طیف گسترده‌ای از روش‌های فرا ابتکاری از جمله الگوریتم‌های ژنتیک (Porta et al. 2013, Dai and Ratick 2014; Li and parrott, 2016, Mohammadi et al., 2015, Haque and Asami, 2011,2014)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات[3] (Ma et al., 2010, 2011, Masoomi et al., 2013, Liu et al., 2013, Liu et al., 2016)، کلونی مورچگان[4] (Liu et al., 2014)، سیستم‌های ایمنی مصنوعی[5] (Huang et al., 2013) و الگوریتم کلونی زنبورهای عسل[6] (Yang et al., 2015) برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه تخصیص کاربری زمین مطالعه شده‌اند.

1 Pareto Front
2 Non-dominated answers

3 Particle swarm optimization (PSO(
4 Ant Colony Optimization (ACO)
5 artificial immune systems
6 the artificial bee colony algorithm

۲،۱. الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک از اصول زیستی انتخاب طبیعی و بقای بهترین گونه‌ها در طبیعت الهام می‌گیرد. این الگوریتم با استفاده از اصل بقای بهترین، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهبود یافته را در هر نسل ایجاد می‌کند. هر نسل[1] حاوی مجموعه جدیدی از راه‌حل‌های ایجاد شده به وسیله فرایند انتخاب افراد (جمعیت) براساس سطح برازش[2] آنها در محدوده مسئله، پرورش آنها با استفاده از عملگرهایی که از فرایندهای طبیعی الهام گرفته‌اند مثل انتخاب، ترکیب مجدد، جهش و جانشینی است. این فرایند به تکامل جمعیت افرادی منجر می‌شود که با محیط خود سازگاری بهتری (مسئله بهینه‌سازی) نسبت به افرادی که از آنها ایجاد شده‌اند (تولید نسل بهتر) دارند. فرایند زمانی به اتمام می‌رسد که برخی شرایط رضایت‌بخش حاصل شود (Memmah et al., 2015:982). مدل‌های مختلفی از الگوریتم ژنتیک چندهدفه به همراه طرح‌های مختلفی برای نمایش کروموزومی، تابع برازش و عملگرهای انتخاب، تزویج و جهش ارائه شده است. نسخه دوم الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب یکی از شناخته شده‌ترین روش‌های ژنتیک است که به وسیله دب[3] و همکارانش ایجاد شده است (Deb et al., 2002). تعریف فاصله ازدحام، استفاده از عملگر انتخاب و تورنومنت ذخیره و آرشیو کردن جواب‌های نامغلوب که در مراحل قبلی الگوریتم به دست آمده (نخبه‌گرایی)، از ویژگی‌های عمده این الگوریتم است (Malczewski & Rinner, 2015:174). مفاهیم اصلی الگوریتم ژنتیک در حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه شامل کدگذاری، ایجاد جمعت اولیه، تخصیص برازش، انتخاب، تزویج، جهش و ایجاد جمعیت جدید(همان:۱۸۰-۱۷۴) است. جدول شماره۲ مفاهیم متناظر الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب و تخصیص کاربری زمین را نشان می‌دهد.

جدول شماره۲: متناظرسازی مفاهیم الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب و تخصیص کاربری زمین

مفاهیم	تفسیر در تخصیص کاربری زمین
ژن	کاربری زمین هر قطعه
کروموزوم	نقشه کاربری زمین تمام قطعات (چینش بهینه کاربری‌ها)
جمعیت اولیه	تعداد مشخصی از نقشه‌های کاربری زمین
تغییر نسل	تغییر نقشه‌های کاربری زمین از طریق تلفیق دو نقشه کاربری (کروموزوم)
جهش	تغییر تخصیص کاربری زمین (تصادفی)
فضای جستوجو	تمامی حالت‌هایی که میتوان کاربری‌ها را به زمین اختصاص داد
اکتشاف	پیدا کردن بخشی از فضای جستوجو که گزینه‌های برتر در آن واقع شده‌اند
بهرهبرداری (جستوجوی محلی)	جستوجوی با دقت فضای اکتشاف و به دست آوردن بهترین گزینه‌های کاربری زمین
همگرایی	هنگامی که دیگر امکان تولید نقشه کاربری زمین بهتری وجود نداشته باشد
جبهه جواب بهینه پارتو	گزینه‌های برتر تخصیص کاربری زمین

روش کار الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب که یکی از حالت‌های چندهدفه الگوریتم ژنتیک بوده، به شرح زیر است (Coello et al., 2007:93):

گام نخست، تولید جمعیت اولیه یا والدین: در این گام مجموعه‌ای از کروموزوم‌های اولیه به شیوه تصادفی تولید می‌شوند.

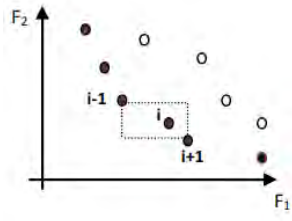
گام دوم، ارزیابی و تخصیص برازش: مقادیر توابع هدف برای تمامی اعضای جمعیت محاسبه می‌شود.

گام سوم، مرتب‌سازی جمعیت: جمعیت براساس شرط‌های غلبه کردن، مرتب‌سازی می‌شوند.

گام چهارم، محاسبه فاصله ازدحامی: به گفته دب، فاصله ازدحام برآوردی از تراکم راه‌حل‌ها در همسایگی راه‌حل **i** در فضای هدف است، این فاصله به صورت نصف محیط مکعب محصور محاسبه می‌شود. از نظر تکنیکال، فاصله ازدحام تخمینی از اندازه بزرگ‌ترین مکعب احاطه‌کننده راه‌حل **i** است بدون این که هیچ نقطه دیگری از جمعیت را شامل شود. در یک مسئله دوهدفه فاصله ازدحام **i** امین نقطه به صورت زیر محاسبه می‌شود (Deb et al, 2002:185):

(۲)

$$i_{dis} = \frac{f_1(x)_{i+1} - f_1(x)_{i-1}}{max f_1(x) - min f_1(x)} + \frac{f_2(x)_{i-1} - f_2(x)_{i+1}}{max f_2(x) - min f_2(x)}$$



تصویر شماره۱: مفهوم فاصله ازدحام

Deb et al, 2002:185

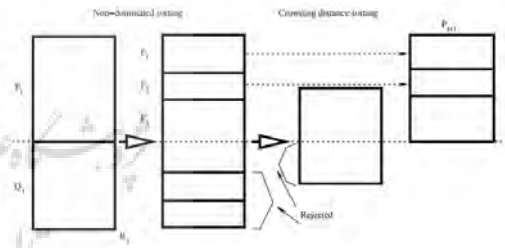
گام پنجم، انتخاب براساس رتبه و فاصله ازدحام: در این مرحله از میان جواب‌های هر نسل تعدادی از آنها با استفاده از روش انتخاب تورنمنت باینری انتخاب می‌شوند. در روش انتخاب تورنمنت

1 generation
2 Fitness
3 Deb

باینری، دو جواب به تصادف از میان جمعیت انتخاب و سپس میان این دو جواب، مقایسه‌ای انجام و در نهایت جواب برتر انتخاب معیارهای انتخاب در الگوریتم NSGA-II میان این دو جواب مقایسه‌ای انجام شده و در نهایت جواب برتر انتخاب می‌شود. معیارهای انتخاب، در درجه نخست، رتبه جواب و در درجه دوم فاصله ازدحام مربوط به جواب است. جوابی مطلوبتر است که دارای رتبه کمتر و فاصله ازدحام بیشتری باشد.

گام ششم، انجام تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید: در این گام با تکرار عملگر انتخاب تورنمنت بر روی جمعیت هر نسل، مجموعه‌ای از افراد آن نسل برای شرکت در تقاطع[1] و جهش[2] انتخاب می‌شوند. بر روی بخشی از مجموعه افراد انتخاب شده، عمل ترکیب و بر روی باقی، عمل جهش انجام و جمعیتی از فرزندان و جهش یافتگان ایجاد می‌شود.

گام هفتم، ترکیب جمعیت اولیه و جمعیت به دست آمده از تقاطع و جهش به منظور ایجاد بهترین کروموزوم‌هایی که جمعیت جدید را تشکیل می‌دهند با بهترین اعضای جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل. در مرحله نخست، اعضای رتبه‌های پایین‌تر جایگزین والدهای قبلی می‌شوند و سپس براساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. جمعیت اولیه و جمعیت ناشی از تقاطع و جهش، ابتدا بر حسب رتبه دسته‌بندی می‌شوند و قسمتی از آنها که دارای رتبه پایین‌تری هستند، حذف می‌گردند . در مرحله بعد، جمعیت باقیمانده براساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. در اینجا مرتب‌سازی داخل یک جبهه انجام می‌شود. تصویر شماره ۲ نحوه ترکیب جمعیت در الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب را نشان می‌دهد.



تصویر شماره ۲: روش ترکیب در NSGA-II: P_t جمعیت والدین و Q_t جمعیت فرزندان است. P_{t+1} جمعیت جدید و F_1 بهترین راه‌حل‌های حاصل از ترکیب، F_2 رتبه دوم بهترین راه‌حل‌های حاصل از ترکیب و ... .

Coello et al., 2007:94

گام هشتم، جایگزینی، در این مرحله جمعیت والدین با بهترین اعضای جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل جایگزین می‌شوند.

گام نهم، تمامی مراحل تا نسل (و یا شرایط بهینگی) مورد نظر تکرار می‌شوند.

۳. روش

روش تحقیق در این مقاله، توصیفی-تحلیلی و نوع تحقیق، کاربردی است. گردآوری اطلاعات مورد نیاز از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و استفاده از پرسشنامه‌ها و کاربرد فن دلفی انجام گرفته است. به منظور تعیین اهداف بهینه‌سازی ابتدا مقالات مرتبط با عدالت فضایی مطالعه و براساس جدول شماره۱ اهداف مورد نظر انتخاب و دسته‌بندی شده‌اند. برای توابع هدف سازگاری و وابستگی، ماتریس سازگاری و وابستگی به عنوان روش پایه انتخاب و برای ارزیابی سازگاری و وابستگی میان کاربری‌های تفصیلی موجود و در ابعاد مکانی پلاک ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که ماتریس‌های یادشده در منابع و استانداردهای موجود براساس زون‌های شهری بوده، از مدل دلفی براساس نظر کارشناسان و منابع موجود برای استخراج ماتریس در سطح پلاک شهری استفاده شده است. روش دلفی با هیأت منصفه هفت نفره شامل دو نفر از کارشناسان شهرسازی شهرداری زنجان، یک نفر از اساتید هیأت علمی برنامه‌ریزی شهری دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، یک نفر از اساتید هیأت علمی برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تربیت مدرس، دو نفر از کارشناسان شرکت‌های مشاور شهرسازی با مدرک کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و یک نفر کارشناس ارشد محیط زیست به کار رفته است. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی زوجی ساختار یافته مقادیر کیفی ماتریس سازگاری و ماتریس وابستگی کمی‌سازی شده‌اند. برای تابع هدف مناسبت فیزیکی زمین از روش تحلیل مناسبت زمین استفاده شده و وزن هر یک از عوامل مؤثر بر تناسب فیزیکی زمین با روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شده است. توابع هدف دسترسی به خدمات شهری و اختلاط کاربری‌ها نیز با تعریف مدل‌های ریاضی مناسب، در مدل‌سازی وارد شده‌اند. پس از مدل‌سازی ریاضی مسئله تخصیص کاربری زمین، الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب با استفاده از یک کد کامپیوتری در نرم‌افزار Matlab R2018a پیاده‌سازی شده است. از آنجایی که نتایج این الگوریتم مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه پارتو است، برای انتخاب مناسبت‌ترین چینش کاربری‌ها از میان این راه‌حل‌های بهینه، روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی، برای تعیین وزن هر یک از اهداف تخصیص کاربری زمین به کار رفته است. وزن حاصل در مقادیر برازش اهداف ضرب شده و پس از اعمال روش مجموع وزن‌دار، جواب مرتبط با بیشینه‌سازی دسترسی به خدمات شهری بیشترین وزن را در جبهه جواب‌های بهینه به دست آورده و به نقشه کاربری زمین در محیط نرم‌افزار ArcGIS تبدیل شده است.

۴. مدل‌سازی مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب

در این بخش مسئله تخصیص کاربری زمین در الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب مدل‌سازی شده است. در ادامه تعریف متغیرهای مسئله، تعریف توابع هدف و قیود مسئله به ترتیب ارائه می‌شود.

1 crossover
2 mutation

٤،١. متغیرهای مسئله بهینه‌سازی

ماتریس x_i^k با ۲۱۶۶ سطر (تعداد قطعات زمین یا پلاک‌ها در محدوده مطالعه) متغیر مسئله پیش رو است؛ که تعیین کننده کاربری j تخصیص یافته به طبقه K ام از پلاک i ام است. گستره منطقه مورد مطالعه در اینجا، به صورت ماتریس در نظر گرفته شده است.

٤،٢. توابع هدف

تابع هدف نخست: حداکثرسازی کارایی خدمات

سازگاری به عنوان شاخص سنجش کارایی خدمات انتخاب شده و در قالب یکی از اهداف بهینه‌سازی وارد مدل‌سازی گردیده است. سازگاری در اینجا به معنی نداشتن اثر منفی کاربری‌های مجاور بر روی یکدیگر است. ماتریس سازگاری برای ارزیابی سازگاری کاربری‌های مجاور و در پنج سطح سازگاری زیاد، متوسط ، خنثی و ناسازگاری متوسط و کاملاً ناسازگاراستفاده شده است. این ماتریس با استفاده از روش دلفی و پرسش از کارشناسان برای محدوده مطالعه مناسب‌سازی شده و از آنجایی که الگوریتم برای حل مسئله با مقادیر عددی کار می‌کند، مقادیر کیفی به دست آمده از روش دلفی با استفاده از روش مقایسه زوجی ساختاریافته در روش تحلیل سلسله مراتبی به مقادیر عددی تبدیل شده‌اند. خروجی این فرایند یک ماتریس ۲۷*۲۷ است که هر درایه از آن سازگاری دو کلاس کاربری را به صورت عددی مشخص می‌کند ($\mathbf{S}$). در نهایت تابع هدف نخست به صورت حداکثرسازی سازگاری میان کاربری‌ها به دو صورت سازگاری درون پلاکی و سازگاری بین پلاکی به صورت رابطه ۳ تعریف شده است.

x_i^1, x_i^2 سازگاری بین طبقه نخست و طبقه دوم ، x_i^2, x_i^3 سازگاری بین طبقات دوم و سوم و x_i^1, x_i^3 سازگاری بین طبقات نخست و سوم در یک پلاک است. جمله دوم در این رابطه بیانگر سازگاری بین پلاکی است. دو ماتریس فواصل پلاک‌ها از یکدیگر (D) و شعاع نفوذ کاربری‌ها یا شعاع تأثیر کاربری‌ها (R) برای محاسبه سازگاری بین پلاکی به کار رفته‌اند. کمترین فاصله تأثیر در همسایگی‌ها اتفاق می‌افتد و به عنوان شعاع تأثیر کامل در نظر گرفته شده است ($D_{i,I}$). همچنین شعاع تأثیرگذاری تا شعاع نفوذ کاربری‌ها در نظر گرفته شده است ($R(x_i^k)$).

$$\text{Max;} \sum_{i=1}^{2166} \left(\left(S(x_i^1, x_i^2) + S(x_i^2, x_i^3) + S(x_i^1, x_i^3) \right) + \frac{R(x_i^k) - D_{i,I}}{R(x_i^k)} * \sum_{a=1}^{3} \sum_{b=1}^{3} S(x_i^a, x_I^b) \right) \quad (۳)$$

$$I \in \{1,2,3, \dots, 2166\} \in \{1,2,3, \dots, 2166\}$$

$$I \neq i \neq i$$

$$D_{i,I} \leq R(x_i^k)$$

تابع هدف دوم: حداکثرسازی وابستگی فضایی

ماتریس وابستگی که با استفاده از روش دلفی و پرسش از کارشناسان برای محدوده مطالعه مناسب‌سازی شده، برای محاسبه این تابع هدف به کار رفته است. از روش مقایسه زوجی ساختار یافته در روش تحلیل سلسله مراتبی نیز مقادیر کیفی این ماتریس به مقادیر عددی تبدیل شده‌اند. خروجی این فرایند یک ماتریس ۲۷*۲۷ است که هر درایه از آن وابستگی دو کلاس کاربری را به صورت عددی مشخص می‌کند (V). در تابع هدف دوم، باید میزان وابستگی فضایی میان کاربری‌های تعریف شده در مدل به حداکثر برسد. در اینجا نیز فواصل کاربری‌ها از یکدیگر و نیز شعاع نفوذ آنها در مدل‌سازی وارد شده است. وابستگی هم در طبقات و هم در همجواری‌ها مورد سنجش قرار گرفته است.

$$\text{Max;} \sum_{i=1}^{2166} \left(\left(V(x_i^1, x_i^2) + V(x_i^2, x_i^3) + V(x_i^1, x_i^3) \right) + \frac{R'(x_i^k) - D_{i,I}}{R'(x_i^k)} * \sum_{a=1}^{3} \sum_{b=1}^{3} V(x_i^a, x_I^b) \right) \quad (٤)$$

$$I \in \{1,2,3, \dots, 2166\} \in \{1,2,3, \dots, 2166\}$$

$$I \neq i \neq i$$

$$D_{i,I} \leq R(x_i^k)$$

تابع هدف سوم: حداکثرسازی تناسب فیزیکی زمین

برای به دست آوردن امتیاز هر قطعه برای تخصیص یک کاربری به آن، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره که مبتنی بر روش تحلیل مناسبت محیطی و تلفیق آن با AHP و دلفی است، استفاده شده و مناسبت اراضی برای استقرار هر یک از کاربری‌های شهری مشخص گردیده است. به عبارت دیگر در اینجا یک مدل ارزیابی (مبتنی بر تصمیم‌گیری چند معیاره) با یک مدل بهینه‌سازی ترکیب شده است. به اعتقاد مماه و همکاران (۲۰۱۵) تلفیق تصمیم‌گیری چند معیاره با مدل‌های بهینه‌سازی آینده مطالعات بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین خواهد بود (Memmah et al., 2015:993). معیارهای به کار رفته در مدل‌سازی تناسب زمین شامل مساحت، دسترسی قطعات زمین به شبکه حمل‌ونقل عمومی، تعداد برهای قطعه زمین، آلودگی هوا و قیمت زمین است. در نهایت تناسب کلی قطعه‌ی j با کلاس کاربری C_i به صورت رابطه ۵ به دست آمده است:

(۵)

$$S_{i,C_i} = w_1 A_{j,C_i} + w_2 Ac_{j,C_i} + w_3 Ed_{j,C_i} + w_4 AP_{j,C_i} + w_5 OP_{j,C_i}$$

که در این رابطه j نشانگر قطعه مورد نظر، C_i کلاس کاربری مورد نظر، A مساحت، Ac دسترسی به محورهای ارتباطی، Ed تعداد برهای قطعه، Ap آلودگی هوا، و P مالکیت زمین هر قطعه و S_{i,C_i} مطلوبیت کلی قطعه jبا کلاس کاربری C_i است. همچنین w_1 تا w_5 وزن‌های نسبت داده شده به هر یک از معیارها هستند که از جدول شماره۳ استخراج شده‌اند.

جدول شماره ۳: وزن هر یک از نقشه(معیار)ها براساس جمع‌بندی نظرات کارشناسان

معیارها(نقشه‌های پایه)	وزن
مساحت قطعه زمین	۰٫۲۹۸
دسترسی به شبکه ارتباطی	۰٫۲۹۸
قیمت زمین	۰٫۱۵۸
آلودگی صوتی و هوا	۰٫۱۵۸
تعداد برهای قطعه	۰٫۰۸۸

خروجی همپوشانی نقشه‌های معیار در تحلیل تناسب زمین، براساس وزن‌های بیان شده در جدول شماره۲، یک ماتریس ۲۶ (کلاس کاربری‌ها به جز بایر) در ۲۱۶۶ (تعداد پارسل‌ها) است (ماتریس M). هر یک از پارسل‌های زمین امتیازی را برای تخصیص هر یک از کاربری‌ها براساس تحلیل مناسبت به دست آورده‌اند. پس از به دست آوردن ماتریس مورد نیاز با استفاده از روش یادشده، تابع هدف در قالب حداکثر کردن کلی مناسبت فیزیکی در کل تخصیص‌های صورت گرفته براساس رابطه زیر تعریف شده است.

$$\text{Max;} \sum_{i=1}^{2166} \sum_{k=1}^{3} M(i, x_i^k) \qquad \forall_i \qquad (۶)$$

تابع هدف چهارم: دسترسی به خدمات شهری

در این تحقیق بیشینه‌سازی دسترسی به خدمات شهری برای کاربری‌های مسکونی از طریق حداقل کردن فاصله از خدمات اساسی انجام شده است. به بیان دیگر از شاخص فاصله در مدل‌سازی استفاده شده است. در واقع برای مدل تعریف می‌شود که فاصله کاربری‌های مسکونی تخصیص داده شده را از کاربری‌های خدماتی اساسی در محله و ناحیه، حداقل کند. E ماتریس خدمات اساسی است که با مطالعه منابع و مستندات تخصصی شهرسازی به دست آمده است.

$$\text{Max;} \sum_{i|x_i^k=\text{مسکونی}}^{2254} \sum_{i'|x_i^k \in E}^{3} Min(D_i, i') \qquad (۷)$$

تابع هدف پنجم: تنوع

اختلاط کاربری به صورت تخصیص کاربری‌های متنوع در یک بلوک در طبقات و در همسایگی‌ها تعریف شده است. با تعریف مدل ریاضی که در رابطه شماره ۸ به آن اشاره شده، ابتدا تعداد کاربری‌های موجود در هر بلوک که به صورت تصادفی به وسیله الگوریتم تخصیص داده می‌شود، تعیین می‌گردد. سپس تابع هدف به صورت بیشینه‌سازی تعداد کاربری‌های سازگار تخصیص داده شده در کل بلوک‌ها تعریف می‌شود. در این رابطه $i_b i_b$ شماره بلوک‌هاست.

$$\text{Max;} \sum_{i_b}^{\text{تعداد بلوک}} \sum_{j=1}^{27} C^{-|\prod_i(L_{i_b}(i)-j))|} \qquad (۸)$$

۴،۳. شرایط و محدودیت‌های مسئله

محدودیت‌ها، بخش مهمی از مدل‌سازی ریاضی تخصیص کاربری زمین هستند. آنها فضای راه‌حل‌های ممکن را محدود می‌کنند. کار کردن با محدودیت‌های دنیای واقعی یکی از موارد چالش برانگیز در فرایند بهینه‌سازی است؛ به ویژه که این محدودیت‌ها می‌توانند پیچیدگی محاسباتی مسئله را بیشتر کنند (Kaim et al, 2018 : 84). در این مقاله هفت محدودیت برای تخصیص کاربری زمین تعیین شده‌اند که شامل عدم تخصیص کاربری بایر به طبقه نخست در قطعات زمین، تخصیص کاربری در طبقه سوم تنها در صورت وجود کاربری در طبقه دوم، امکان‌پذیری تخصیص کاربری‌ها در طبقات مختلف یک پلاک، رعایت حداقل و حداکثر تفکیک کاربری‌ها، تضمین عدم تخطی از سرانه در محلات، تضمین عدم تخطی از سرانه در ناحیه و در نهایت تخصیص کاربری‌های ضروری به محله است.

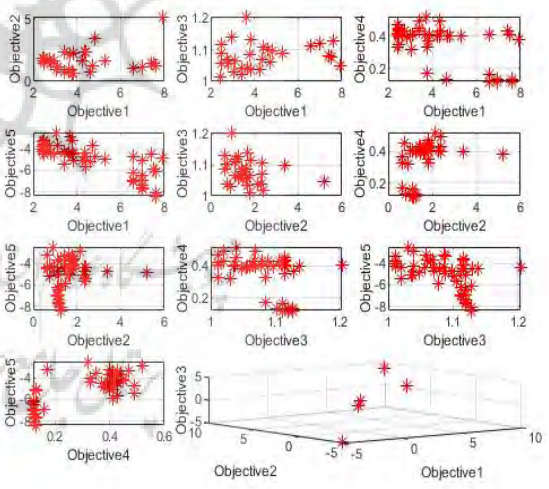
۵. بحث و یافته‌ها

به منظور حل مسئله مدل‌سازی شده در بخش ۴، از یک کد کامپیوتری الگوریتم NSGA-II در محیط نرم‌افزار Matlab R2018a استفاده شده است. مطابق با جدول شماره۴ که پارامترهای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب به منظور اجرای مدل تخصیص کاربری‌های شهری را نشان می‌دهد، این الگوریتم با ۳۰۰ تکرار اجرا و شرایط بهینگی در تکرار ۲۵۶ محقق شد. در این تکرار، جواب‌ها از همگرایی خوبی برخوردار شدند. در پایان نیز ۵۰ چینش بهینه از کاربری‌ها که بهترین شرایط را در فضای ممکن تصمیم داشتند، به عنوان جواب الگوریتم به دست آمد. مسئله مفروض دارای پنج تابع هدف و بنابراین جبهه جواب کلی مسئله دارای فضای پنج بعدی است. از آنجا که نمایش جبهه جواب پنج بعدی ناممکن است، این فضا در فضاهای دو بعدی تصویر شده و مقادیر توابع هدف بیشینه‌سازی با هم مقایسه شده‌اند. نمودار شماره۱ جبهه‌های جواب بهینه دو بعدی متناظر با توابع هدف را با استفاده از روش NSGA-II نشان می‌دهد. در این نمودارها هر یک از نقاط نمایش داده شده یک چینش بهینه از کاربری زمین را با توجه به مقادیر توابع هدف، نشان می‌دهند. تصمیم‌گیرنده با توجه به اولویت‌های خود می‌تواند هریک از این ۵۰ نقطه را انتخاب کرده و چینش متناظر را در قالب نقشه ملاحظه کند. بهترین نقاط، نقاطی است که به ازای هر پنج تابع بیشینه شده است. از این رو تمامی چینش‌هایی از کاربری زمین که حداقل یکی از توابع هدف را بیشینه کرده‌اند، به عنوان بهینه‌ترین جبهه جواب انتخاب شدند. این جبهه جواب شامل چهار نقطه به شرح جدول شماره ۵ است. نقاط یادشده در همه توابع هدف بهترین نقاط نیستند ولی در مجموع پنج تابع هدف وضعیت بهتری نسبت به سایر نقاط دارند

و به عنوان نقاط بهینه انتخاب شده‌اند. سپس برای انتخاب یکی از چینش‌های کاربری زمین از میان چهار چینش یادشده و نمایش آن در قالب نقشه کاربری زمین، ابتدا با استفاده از روش AHP و با توجه به هدف عدالت فضایی به هریک از توابع هدف وزنی اختصاص یافته است (جدول شماره۶). پس از نرمال سازی مقادیر توابع هدف، وزن مورد نظر در مقدار نرمال شده ضرب شده و پس از محاسبه مجموع وزن‌دار، در نهایت جواب مرتبط با ماکزیمم شدن تابع هدف دسترسی بیشترین مجموع وزن‌دار را کسب کرده است. این چینش بهینه از کاربری‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS به نقشه کاربری اراضی (تصویر شماره ۳) تبدیل شده است. تصویر شماره ۳ نتایج تخصیص بهینه کاربری اراضی را در طبقه نخست از محدوده مطالعه نشان می‌دهد.

جدول شماره ۴ : پارامترهای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب به منظور اجرای مدل تخصیص کاربری‌های شهری

پارامترهای الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب	مقادیر تعریف شده برای هرالمان
جمعیت اولیه	۵۰
تعداد تکرار	۳۰۰
نسبت تقاطع	۰٫۴
نسبت جهش	۰٫۳
احتمال جهش	۰٫۰۲



نمودار شماره۱: مقایسه مقادیر توابع هدف نسبت به یکدیگر

جدول شماره ۵: مقادیر توابع هدف به ازای نقاط جبهه جواب بهینه

	مقادیر توابع هدف برای جبهه جواب بهینه				
	سازگاری	وابستگی	تناسب فیزیکی زمین	دسترسی به خدمات شهری	اختلاط کاربری
۱	۷٫۹۳	۵٫۱۹	۱٫۰۵	۰٫۳۸	-۴٫۸۱
۲	۳٫۷۰	۲٫۱۳	۱٫۰۴	۰٫۵۲	-۲٫۸۸
۳	۳٫۰۶	۰٫۹۱	۱۰٫۳	۰٫۳۲	-۲٫۴۹
۴	۳٫۶۵	۰٫۹۸	۱٫۲	۰٫۴۱	-۴٫۴۳

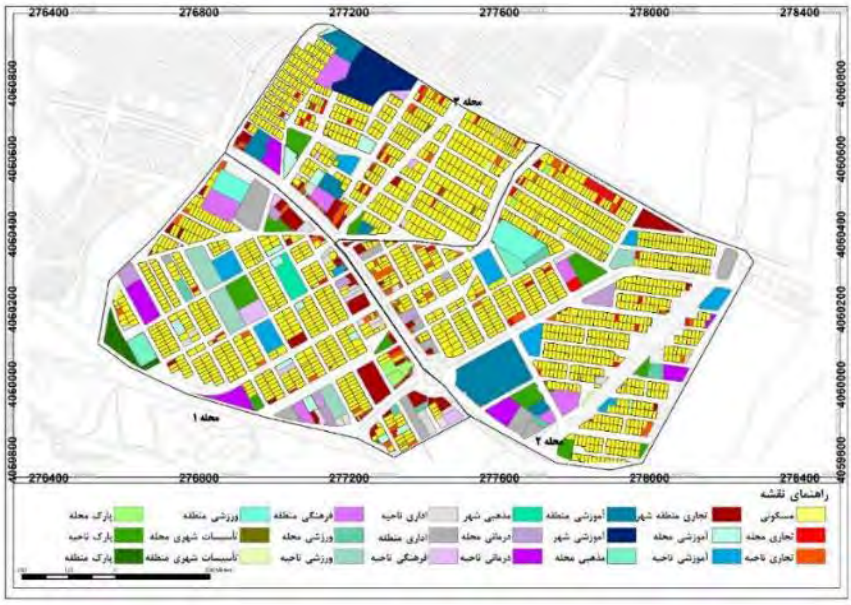
جدول شماره ۶: وزن محاسبه شده برای هر یک از توابع هدف با استفاده از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره با توجه به هدف عدالت فضایی

توابع هدف	سازگاری	وابستگی	تناسب فیزیکی زمین	دسترسی به خدمات شهری	اختلاط کاربری
وزن حاصل از AHP	۰٫۱۰۱	۰٫۰۷۷	۰٫۱۹۵	۰٫۴۴۹	۰٫۲۷۹

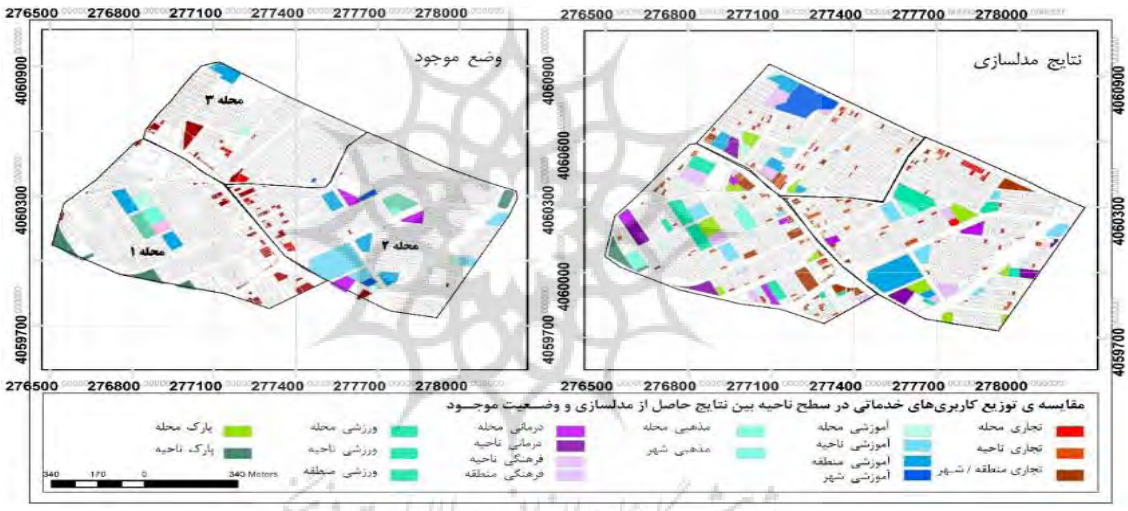
براساس تصویر شماره ۳، نتایج تفصیلی حاصل از پیاده‌سازی مدل به تفکیک تخصیص انجام شده به دست آمد. به منظور ارزیابی کفایت مدل توسعه داده شده، در خصوص تخصیص کاربری‌ها نتایج با وضع موجود از طریق دو سنجه مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به این که مدل پیشنهادی باید سرانه‌های استاندارد کاربری‌های شهری را تأمین کند، در درجه نخست نتایج تخصیص در طبقه اول با سرانه وضع موجود به تفکیک محلات موجود مقایسه گردید (جدول شماره۸). مطابق با نمودار شماره۳، مدل در تخصیص کاربری‌های تجاری، آموزشی ، درمانی، ورزشی و فرهنگی در محلات ۱ و ۲، سرانه کاربری‌ها را به سرانه استاندارد و حتی بیش از آن افزایش داده است. در محله ۳ نیز سرانه کاربری‌های آموزشی، تجاری و فرهنگی بهبود پیدا کرده است.

از آنجایی که در بحث عدالت فضایی، توزیع کاربری‌ها در سطح محلات و نواحی از اهمیت زیادی برخوردار است، نتایج حاصل از مدل‌سازی از طریق سنجه LQ نیز بررسی شده است. این سنجه میزان تعادل یا نامتعادلی توزیع کاربری‌ها را با توجه به توزیع جمعیت نشان می‌دهد (Jahan & Oda, 2000: 868). حد متعارف ضریب مکانی عدد ۱ است که نشان می‌دهد تعادل بین سرانه کاربری‌ها برقرار است. این تعادل صرفاً نظری است و در عمل همواره با اعداد بیشتر یا کمتر از۱ مواجه هستیم که نشان می‌دهد در مکان مدنظر، سرانه مدنظر بیشتر یا کمتر از سرانه سطح بالاتر از خود است. برای بررسی تمرکز فضایی کاربری‌های خدماتی در سطح ناحیه مورد مطالعه از رابطه شماره۹استفاده شد. هرچه LQمحاسبه شده بیشتر باشد، نشانه سطح برخورداری بیشتر است. براساس داده‌های جدول شماره۷، مدل توزیع کاربری‌ها را در سطح محلات ۱ و ۲ به خوبی انجام داده است به گونه‌ای که مقایسه‌ی LQ قبل و بعد از مدل‌سازی، نشان‌دهنده برخورداری بیشتر محلات از کاربری‌های خدماتی نسبت به وضعیت قبل از مدل‌سازی است. اما در مورد محله ۳ هرچند مدل در کاربری‌های تجاری، آموزشی و درمانی برخورداری محله را از کاربری‌های خدماتی افزایش داده اما در سایر کاربری‌ها تفاوتی نسبت به وضعیت پیش از مدل‌سازی مشاهده نمی‌شود.

$$LQ = (ni/p) / (Ni/P) \quad (۹)$$



تصویر شماره ۳: نمایش چینش بهینه کاربری اراضی در طبقه نخست از محدوده مطالعه، حاصل از پیاده‌سازی مدل با الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب



تصویر شماره ٤: مقایسه توزیع کاربری‌های خدماتی در سطح ناحیه بین نتایج حاصل از مدل‌سازی و وضعیت موجود

در رابطه شماره ۹ ni مساحت کاربری خدمات رسان در محله ، P جمعیت محله، Ni مساحت کاربری خدمات رسان در ناحیه و P جمعیت ناحیه است.

جدول شماره ۷: بررسی میزان تعادل یا نامتعادلی توزیع کاربری‌ها با توجه به توزیع جمعیت با استفاده از ضریب مکانی در سطح محلات براساس نتایج حاصل از مدل

نوع کاربری	تعادل در توزیع کاربری‌ها در محله ۱		تعادل در توزیع کاربری‌ها در محله ۲		تعادل در توزیع کاربری‌ها در محله ۳	
	وضع موجود	نتایج مدل	وضع موجود	نتایج مدل	وضع موجود	نتایج مدل
تجاری	۱٫۷۷	۱٫۵	۰٫۳۵	۰٫۷۹	۰٫۷۶	۰٫۷۹
آموزشی	۰٫۵۶	۰٫۶	۱٫۴۰	۱٫۰۷	۰٫۲۵	۱٫۲۷
مذهبی	۱٫۳۴	۲٫۷	۰٫۳۱	۰٫۶۵	۰	۰٫۰۰
درمانی	۰	۱٫۸	۰٫۸۹	۱٫۰۰	۰	۰٫۳۳
اداری	۰٫۴۹	۰٫۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۱۳	۰٫۰۰
فرهنگی	۰٫۰۶	۰٫۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
ورزشی	۰٫۵۴	۲٫۱	۰٫۴۶	۱٫۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰
تأسیسات شهری	۰	۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
پارک و فضای سبز	۱٫۲۳	۱٫۷	۰٫۲۶	۰٫۰۱	۰	۰٫۴۲

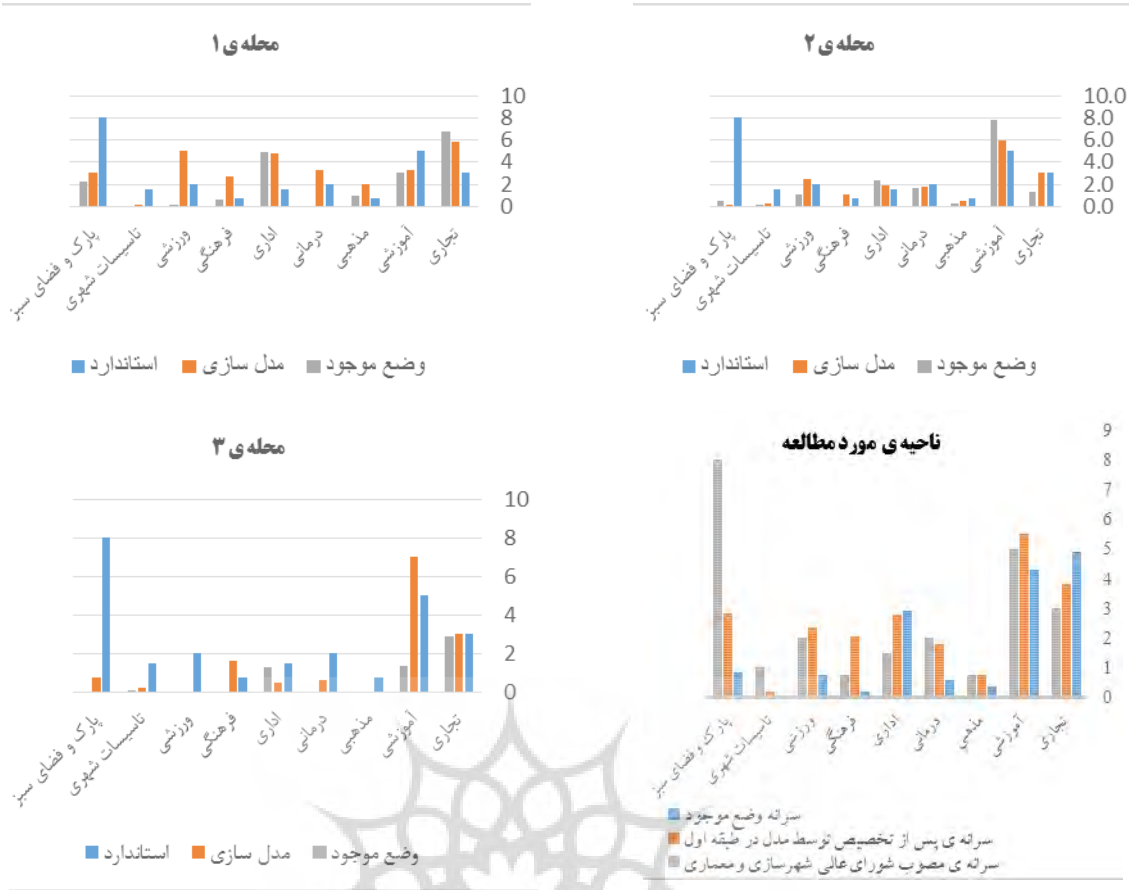
جدول شماره ۸: مقایسه سرانه کاربری‌های خدماتی حاصل از مدل‌سازی در طبقه نخست در سطح محلات با سرانه وضع موجود و سرانه استاندارد

نوع کاربری	محله۱			محله ۲			محله ۳				
	مساحت	تعداد	سرانه	مساحت	تعداد	سرانه	مساحت	تعداد	سرانه	سرانه استاندارد
مسکونی	۱۱۹۵۲۷,۴۲	۴۵۷	۲۵,۶	۱۷۵۴۹۲,۸۵	۷۲۵	۲۸,۶	۱۳۰۵۴۸,۵۱	۴۹۰	۲۳,۱	۲۵
تجاری	۲۷۳۵۷,۶۹	۱۱۶	۵,۹	۱۸۶۲۰,۵۵	۹۹	۳	۱۶۹۹۰,۴۳	۱۲۹	۳	۳
آموزشی	۱۵۱۳۸,۳۶	۱۳	۳,۲	۳۶۱۹۱,۱۵	۸	۵,۹	۳۹۴۱۳,۳۸	۱۱	۷	۲-۵
مذهبی	۹۳۹۶,۳۸	۲	۲	۲۹۸۱,۷۵	۱	۰,۵	۰	۰	۰	۰,۵-۰,۷۵
درمانی	۱۵۲۸۵,۶۹	۷	۳,۳	۱۱۱۷۴,۲۲	۵	۱,۸	۳۴۳۲,۴۵	۱	۰,۶	۱-۲
اداری	۲۲۵۷۰,۲۴	۲۵	۴,۸	۱۱۹۴۶,۲	۱۰	۱,۹	۲۸۴۶,۴۲	۵	۰,۵	۰,۷۵-۱,۵
فرهنگی	۱۲۸۲۳,۶۱	۶	۲,۷	۶۶۴۰,۷۶	۳	۱,۱	۹۰۹۸,۴۹	۶	۱,۶	۰,۵-۰,۷۵
ورزشی	۲۳۲۲۲,۵۳	۷	۵	۱۵۳۴۲,۲۸	۵	۲,۵	۰	.	۰	۱,۱-۲
تأسیسات شهری	۴۷۳,۴۱	۲	۰,۱	۱۳۴۲,۱۵	۵	۰,۲	۱۴۰۲,۱۸	۹	۰,۲	۱-۱,۵
صنعتی کارگاهی	۳۴۰۵,۹۲	۲	۰,۷	۱۲۰۵,۷۸	۴	۰,۲	۰	.	۰	۶-۱۰
پارک و فضای سبز	۱۲۳۰۲,۵۱	۵	۳,۱	۱۱۶۶,۶۸	۵	۰,۲	۴۳۹۵,۴۷	۲	۰,۸	۸

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله تخصیص کاربری‌های شهری از منظر عدالت فضایی در سطح پلاک شهری و در طبقات هر قطعه زمین، با استفاده از مفاهیم مسائل بهینه‌سازی چند هدفه مدل‌سازی و با الگوریتم فراابتکاری ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب پیاده‌سازی شد. توابع هدف برای تخصیص کاربری‌ها از جمله سازگاری، وابستگی، دسترسی به خدمات، تنوع و تناسب فیزیکی، در طبقات و در همجواری‌ها مورد سنجش قرار گرفتند. در آخر با انتخاب یک جبهه جواب بهینه از نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم و با استفاده از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، یکی از جواب‌های جبهه بهینه مرتبط با حداکثرسازی دسترسی به خدمات شهری انتخاب و در محیط نرم‌افزار ارک جی اس به نقشه تخصیص کاربری تبدیل شد. ارزیابی کمی کاربری‌های تخصیص یافته و مقایسه آنها با وضع موجود نشان داد که مدل در تخصیص تمامی کاربری‌های خدماتی از جمله کاربری‌های مذهبی، درمانی، ورزشی، پارک و فضای سبز و کاربری فرهنگی سرانه‌های تخصیص کاربری زمین را بهبود داده است. تنها در تخصیص کاربری تأسیسات شهری تخصیص با سرانه مناسب صورت نگرفته است. در تمامی کاربری‌ها به جز کاربری‌های تأسیسات شهری و فضای سبز، سرانه‌های مدل بیش از سرانه مصوب است که این تفاوت به دلیل تخصیص کاربری در طبقات است و از آنجایی که محدوده مطالعه در طرح تفصیلی محدوده واجد شرایط بارگذاری جمعیت شناسایی شده، این مورد از این منظر قابل بحث است. با توجه به این که هدف اصلی این مدل‌سازی دستیابی به توزیع بهتری از کاربری‌ها در سطح ناحیه در مرحله تخصیص کاربری زمین بوده است، نتایج مدل‌سازی توزیع بهتری از کاربری‌های خدماتی را با توجه به سنجه **LQ** نشان می‌دهد.

مهمترین دستاورد پژوهش حاضر، معرفی و ارائه مدلی کارآمد و مناسب برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند هدفه در تخصیص کاربری زمین شهری است. انتخاب و نحوه تعریف توابع هدف نیز نقش بسیار مهمی در نتایج به دست آمده از مدل داشته است. تلفیق مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره با روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه در مراحل مختلف مدل‌سازی موجب شده تا دانش کارشناسان در تعریف تمامی اجزای مدل مورد توجه قرار گیرد و نتایج مدل از کفایت لازم برخوردار شود. مدل پیشنهادی با وجود در تناقض بودن برخی توابع هدف، بهینه‌سازی همزمان انجام می‌دهد و به تصمیم‌گیران این امکان را می‌دهد که یک راه حل را از میان چندین راه حل بهینه با توجه به اولویت‌های خود برگزینند. در این مقاله چینش نهایی از میان جبهه جواب بهینه با استفاده از دانش کارشناسان و روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی انتخاب شد. مدل طراحی شده، یک مدل پشتیبان برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری است که در تمامی اجزای آن از تعریف مسئله تا انتخاب چینش بهینه از کاربری‌های شهری از دانش کارشناسان استفاده شده است. این مدل به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا با مشخص کردن اولویت‌ها، نتایج را مشاهده کند و بهترین تصمیم را بگیرد.



نمودار شماره ۳: نتایج مدل‌سازی در مقایسه سرانه‌های وضع موجود، سرانه حاصل از مدل‌سازی در طبقه نخست و سرانه استاندارد شواری عالی معماری و شهرسازی ایران به تفکیک محلات و ناحیه مطالعاتی

based Fast Genetic Algorithm. Computers, Environment and Urban Systems, 36(3), 257-269.

- Coello, C. A. C., Lamont, G. B., & Van Veldhuizen, D. A. (2007). Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems (Vol. 5). New York: Springer.
- Dadashpoor, H. & Rostami, F. (2012). Investigation and analysis of urban public services distribution from the perspective of spatial equity: The case of Yasuj City, Journal Of Geography and Regional Development Reseach Journal, Volume:9 Issue: 16, 171-198. [in Persian]
- Dadashpoor, H . , Rostami, F. & Alizadeh, B. (2014). Analysis of Justice Distribution of Urban Services and the their Spatial Distribution Pattern in Hamadan City, Journal Of Urban Studies, Volume: 3, Issue: 12, 5-18. [in Persian]
- Dadashpoor, H . , Alizadeh, B. & Rostami, F. (2015a). Spatial justice dialectic in city. Azarkhsh: Tehran. [in Persian]
- Dadashpoor, H . , Alizadeh, B. & Rostami, F.

Refrences:

- Alaei Moghadam, S., Karimi , M., & Mohammadzadeh, A. (2015). Modeling of Urban Land Use Allocation Using Reference-Point-Nondominated Sorting Genetic Algorithm II, Journal of Geomatics Science and Technology, Volume:4 Issue: 4,47-66. [in Persian]
- Aminzadeh,B & Roshan, M. (2015). Evaluation of Spatial Justice Measurement Methods in Urban Land-Use Distribution, Case Study: Qazvin , Journal of Architect, Urban Design & Urban Planning, Volume:7 Issue: 13, 243-258. [in Persian]
- Cao, K., Batty, M., Huang, B., Liu, Y., Yu, L., & Chen, J. (2011). Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II. International Journal of Geographical Information Science, 25(12), 1949-1969.
- Cao, K., Huang, B., Wang, S., & Lin, H. (2012). Sustainable land use optimization using Boundary-

28. [in Persian]

- Huang, B., Fery, P., Xue, L., & Wang, Y. (2008). Seeking the Pareto front for multiobjective spatial optimization problems. International Journal of Geographical Information Science, 22(5), 507-526.
- Huang, K., Liu, X., Li, X., Liang, J., & He, S. (2013). An improved artificial immune system for seeking the Pareto front of land-use allocation problem in large areas. International Journal of Geographical Information Science, 27(5), 922-946.
- Janssen, R., van Herwijnen, M., Stewart, T. J., & Aerts, J. C. (2008). Multiobjective decision support for land-use planning. Environment and Planning B: Planning and Design, 35(4), 740-756.
- Kaim, A., Cord, A. F., & Volk, M. (2018). A review of multi-criteria optimization techniques for agricultural land use allocation. Environmental Modelling & Software, 105, 79-93.
- Li, X., & Parrott, L. (2016). An improved Genetic Algorithm for spatial optimization of multi-objective and multi-site land use allocation. Computers, Environment and urban systems, 59, 184-194.
- Ligmann-Zielinska, A. (2016). Spatial Optimization. The International Encyclopedia of Geography: 1–6. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118786352.wbieg0156/ abstract;jsessionid=BB7FA4B38B8D8FB2234B607D22178806.f04t02
- Liu, X., Ou, J., Li, X., & Ai, B. (2013). Combining system dynamics and hybrid particle swarm optimization for land use allocation. Ecological Modelling, 257, 11-24.
- Liu, Y. L., Tang, D. W., Kong, X. S., Liu, Y. F., & Ai, T. H. (2014). A land-use spatial allocation model based on modified ant colony optimization. International Journal of Environmental Research, 8(4), 1115-1126.
- Liu, Y., Peng, J., Jiao, L., & Liu, Y. (2016). PSOLA: A heuristic land-use allocation model using patch-level operations and knowledge-informed rules. PloS one, 11(6), e0157728.
- Ma, S., He, J., & Yu, Y. (2010). Model of urban land-use spatial optimization based on particle swarm optimization algorithm. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 26(9),

(2015b). Determination of Conceptual Framework from Spatial Justice in Urban Planning with Focus on the Justice Concept in Islamic School, Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, Volume:5 Issue: 1 . 75-84.[in Persian]

- Dadashpoor, H . , Rostami, F. & Alizadeh, B. (2015c). Status of Spatial Justice in System of Iran,s Urban Planning, Development Strategy, Issue: 43 . 181-206.[in Persian]
- Dadashpoor, H. & Alvandipour, N. (2017). Spatial Justice in Urban Scale in Iran; Meta- Study of Selected Articles' Theoretical Famework, Honarhaie ziba, Volume: 21, Issue: 3, 67-80. [in Persian]
- Dai, W., & Ratick, S. J. (2014). Integrating a Raster Geographical Information System with Multi□Objective Land Allocation Optimization for Conservation Reserve Design. Transactions in GIS, 18(6), 936-949.
- Datta, D., Deb, K., Fonseca, C. M., Lobo, F., Condado, P., & Seixas, J. (2007). Multi-objective evolutionary algorithm for land-use management problem. International Journal of Computational Intelligence Research, 3(4), 371-384.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE transactions on evolutionary computation, 6(2), 182-197.
- Delaviz, Y., Karami, J., & Shaygan, M. (2016). Using NSGA-II for Multi-Objective Optimization Allocation of Urban Land Use in Order to Reduce Earthquake Vulnerability. Journal of Geomatics Science and Technology, 5(3), 247-264.
- Haque, A., & Asami, Y. (2011). Optimizing urban land-use allocation: case study of Dhanmondi Residential Area, Dhaka, Bangladesh. Environment and Planning B: Planning and Design, 38(3), 388-410.
- Haque, A., & Asami, Y. (2014). Optimizing Urban Land Use Allocation for Planners and Real Estate Developers. International Journal of Computers, Environment and Urban Systems, 46, 57-69.
- Hataminejad , H., Vahedian Beiki, L. & Parnoon, Z. (2014). The spatial distribution pattern of urban services Measurement in fifth region Of Tehran using Entropy and Williamson models, Geographical Research, Volume:29 Issue: 3, 17 –

optimal land-use allocation. International Journal of Geographical Information Science, 29(8), 1470-1489.

- Yao, J., Zhang, X., & Murray, A. T. (2018). Spatial Optimization for Land-use Allocation: Accounting for Sustainability Concerns. International Regional Science Review, 0160017617728551.
- Yoon, E. J., Kim, B., & Lee, D. K. (2019). Multi-objective planning model for urban greening based on optimization algorithms. Urban Forestry & Urban Greening, 40, 183-194.

321-326.

- Ma, S., He, J., Liu, F., & Yu, Y. (2011). Land-use spatial optimization based on PSO algorithm. Geo-spatial Information Science, 14(1), 54-61.
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science. Springer.
- Masoomi, Z., Mesgari, M. S., & Hamrah, M. (2013). Allocation of urban land uses by Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm. International Journal of Geographical Information Science, 27(3), 542-566.
- Memmah, M. M., Lescourret, F., Yao, X., & Lavigne, C. (2015). Metaheuristics for agricultural land use optimization. A review. Agronomy for sustainable development, 35(3), 975-998.
- Mohammadi, M., Nastaran, M., & Sahebgharani, A. (2015). Sustainable spatial land use optimization through non-dominated sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II):(Case Study: Baboldasht District of Isfahan). Indian Journal of Science and Technology, 8(S3), 118-129.
- Nazmfar, H., Eshghi chaharpar, A. & Ghasemi, M. (2014). Analysis of social justice in urban spatial structure (case study : maragheh city), Journal of Geography and Environmental Studies, Issue: 11,91-112. [in Persian]
- Porta, J., Parapar, J., Doallo, R., Rivera, F. F., Santé, I., & Crecente, R. (2013). High performance genetic algorithm for land use planning. Computers, Environment and Urban Systems, 37, 45-58.
- Saeedi Rezvani, H. (2014). The transition to a fair city in the theories of urban planning and the teachings of Islam, the Sustainable City, No: 1, 135 - 163. [in Persian]
- Shaygan, M., Alimohammadi, A., Mansourian, A., Govara, Z. S., & Kalami, S. M. (2013). Spatial multi-objective optimization approach for land use allocation using NSGA-II. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(3), 906-916.
- Stewart, T. J., Janssen, R., & Herwijnen, M. V. (2004). A genetic algorithm approach to multiobjective land use planning. Computers and Operation Research, 31(14), 2293-2213.
- Yang, L., Sun, X., Peng, L., Shao, J., & Chi, T. (2015). An improved artificial bee colony algorithm for

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۵۴
شماره سی‌وشش
پاییز ۱۳۹۹
فصلنامه
علمی-پژوهشی
مطالعات شهری

مدل‌سازی تخصیص کاربری‌های شهری با رویکرد عدالت
فضایی براساس روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه