نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴

Vol.13, No.2, Summer 2025

۳۱ -۵۶

مقاله پژوهشی

تعریف، ارزیابی و کاهش سناریوها برای مکان‌یابی و تخصیص انواع فضاهای آموزشی با استفاده از الگوریتم جستجوی عمق اول

زاهد خاطری [۱]، محمد کریمی [۲]*، پرستو پیله فروش‌ها [۳]

۱- کارشناس ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۰۷

چکیده

رشد جمعیت و محدود بودن اراضی قابل استفاده، بر اهمیت استقرار بهینه مراکز خدماتی می‌افزاید. یکی از انواع مراکز خدماتی مورد نیاز در سطح شهر، مراکز آموزشی است که استقرار صحیح آنها دارای اهمیت بالایی می‌باشد. تصمیم‌گیری در خصوص تعیین مکان مناسب جهت استقرار فضاهای آموزشی شامل دو گام اصلی مکان‌یابی و تخصیص بهینه آن‌ها به نحوی است که ضمن دستیابی به مطلوبیت مکان‌های انتخابی و توزیع مکانی مناسب آن‌ها، دسترسی عادلانه در مناطق شهری را به همراه داشته باشد. یکی از مشکلات فرایند مکان‌یابی و تخصیص انواع فضاهای آموزشی در یک منطقه جمعیتی، وجود سناریوهای بسیار زیاد است که بررسی کردن تمام آن‌ها پیچیده می‌باشد. در این راستا و به منظور حل مشکل تعداد سناریوهای زیاد، در این تحقیق یک فرآیند برای تعریف، ارزیابی و کاهش سناریوهای متعدد مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی ارائه شده است. به منظور نیل به این مهم، ابتدا در مرحله اول به بررسی تناسب یکپارچه فضاهای آموزشی پرداخته شده است. سپس، در مرحله دوم با استفاده از مدل جدید کاهش سناریو بر مبنای الگوریتم جستجوی عمق اول، به تعریف و مدلسازی کاهش تعداد سناریوهای ممکن پرداخته شد. در مرحله سوم رتبه‌بندی سناریوهای مختلف انجام شده و در نهایت در مرحله چهارم به تخصیص فضاهای آموزشی تحت سناریوهای محدود پرداخته شده است. براساس نتایج حاصل شده، فاصله دسترسی دانش آموزان به فضاهای آموزشی در تمامی مقاطع تحصیلی به میزان ۹٪ کاهش یافته است. همچنین، پوشش فضاهای آموزشی از ۲۸٪ به ۴۲٪ افزایش یافته و تناسب کلی این فضاها از ۰٫۶۰ به ۰٫۶۹ بهبود یافته است. این نتایج نشان‌دهنده کارآمدی مدل پیشنهادی در بهبود تخصیص فضاهای آموزشی است که می‌تواند به عنوان یک رویکرد موثر در برنامه‌ریزی شهری مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها : مکان‌یابی و تخصیص، فضاهای آموزشی، کاهش سناریو، الگوریتم جستجوی عمق اول.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۲۱-۸۸۷۷۰۲۱۸

Email: mkarimi@kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

۱- مقدمه

رشد جمعیت و محدود بودن اراضی قابل استفاده، بر اهمیت استقرار بهینه مراکز خدماتی می‌افزاید [۱]. امروزه، رشد بسیار زیاد جمعیت شهری منجر به توزیع غیرعادلانه کاربری‌های خدماتی در بسیاری از بخش‌های شهر شده است، به طوری که در برخی نقاط، عدم وجود کاربری خدماتی مورد نیاز و در بخشی دیگر، ازدیاد و کاهش کارایی کاربری خدماتی وجود دارد [۲]. از این رو، تعیین مکان بهینه قرارگیری کاربری‌های خدماتی و تخصیص بهینه متقاضیان به آن‌ها از جمله مسائل مهم در حوزه مکان‌یابی و تخصیص کاربری‌ها می‌باشد.

یکی از انواع مراکز خدماتی مورد نیاز در سطح شهر، مراکز آموزشی است که استقرار صحیح آنها دارای اهمیت بالایی می‌باشد [۱]. تصمیم گیری در خصوص تعیین مکان مناسب جهت استقرار فضاهای آموزشی شامل دو گام اصلی مکان‌یابی و تخصیص بهینه آن‌ها به نحوی است که ضمن دستیابی به مطلوبیت مکان‌های انتخابی و توزیع مکانی مناسب آن‌ها، دسترسی عادلانه در مناطق شهری را به همراه داشته باشد [۳]. در این راستا، در این تحقیق بهبود مدلسازی مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی مد نظر قرار گرفته است.

مدل‌سازی مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی شامل سه گام اصلی ارزیابی تناسب زمین، تعیین تقاضا و تخصیص است. گام اول شامل ارزیابی تناسب زمین برای مراکز آموزشی و تعیین گزینه‌های ممکن مکان‌یابی می‌باشد. به منظور نیل به این مهم، غالبا به انجام آنالیز تناسب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پرداخته می‌شود *[۳، ۴، ۵، ۶ و ۷]*. معیارهای مورد استفاده در این مرحله غالباً شامل تناسب محیطی، دسترسی، همسایگی و محدودیت‌ها می‌باشد. در این رویکرد برای تعیین اهمیت معیارها غالبا از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود *[۸ و ۹]*.

در مدلسازی تخصیص کاربری، علاوه بر تهیه نقشه‌های تناسب، نیاز به محاسبه تقاضای کاربری‌ها نیز می‌باشد. محاسبه تقاضا در فرایند مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی، غالباً به معنای پیش‌بینی تعداد دانش‌آموزانی است که نیاز به دسترسی به امکانات آموزشی دارند. این امر شامل تحلیل داده‌های جمعیتی، تراکم جمعیت و توزیع جغرافیایی دانش‌آموزان فعلی و آینده می‌شود *[۴، ۷ و ۱۰]*. با این وجود، در این زمینه، در تحقیق انجام شده توسط لطفی و همکاران (۲۰۲۳) بر اهمیت در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت مدارس در تعیین تقاضا تأکید شده تا از اختصاص دانش‌آموزان به مدارسی که فاصله زیادی دارند، جلوگیری شود [۳].

در نهایت، تخصیص مکان مدارس بر اساس تقاضا به فرآیندی اشاره دارد که در آن مکان‌های بهینه برای مدارس بر اساس تناسب زمین و تقاضای فضاهای آموزشی در یک منطقه خاص تعیین می‌شود [۳]. در این فرایند اهداف مختلفی نظیر عدالت در دسترسی به مراکز آموزشی، ظرفیت مراکز آموزشی، میزان مطلوبیت مکان مورد نظر برای مرکز آموزشی، سازگاری مراکز آموزشی با سایر کاربری های موجود و هزینه سفر در نظر گرفته می‌شوند *[۳، ۴، ۱۱ و ۱۲]*. در این راستا، مدل‌های مختلفی به منظور تخصیص مدارس استفاده شده‌اند. در این خصوص می‌توان به مدل‌های چند هدفه *p-median* با محدودیت‌های ظرفیت *[۸، ۹ و ۱۰]* و روش‌های فراابتکاری مانند الگوریتم‌های ژنتیک، تبرید شبیه سازی شده[1] و جستجوی تابو[2] با بهبود تدریجی راه‌حل‌های ممکن اشاره کرد *[۳، ۷، ۸ و ۱۱]*. در این زمینه آریفین (۲۰۱۱) از تبرید شبیه‌سازی شده برای حل مشکل تخصیص کاربری مدارس استفاده کرد و اثربخشی الگوریتم‌های فراابتکاری را در یافتن راه‌حل‌های بهینه نشان داد [۴]. علیفی و همکاران (۲۰۱۷) شبکه‌ای از مدارس در باندونگ اندونزی را با استفاده از تحلیل تخصیص کاربری بهینه‌سازی کردند و

[1] *Simulated Annealing*
[2] *Tabu Search*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

کاربردهای عملی تکنیک‌های بهینه‌سازی را در سناریوهای واقعی نشان دادند [۷]. ندیا و همکاران (۲۰۱۲) از مسئلهٔ *p-Median* برای تخصیص مدارس استفاده کردند و نشان دادند که این روش در به حداقل رساندن فاصلهٔ بین دانش‌آموزان و مدارس مؤثر است و بهبود دسترسی را فراهم می‌کند [۱۰]. همچنین، بیرمن و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل تخصیص کاربری *p-Median* با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت توسعه دادند و تطبیق‌پذیری آن را در زمینه‌های مختلف آموزشی نشان دادند [۸]. علاوه بر این، بهشتی‌فر و علی‌محمدی (۲۰۱۳) از یک الگوریتم تکاملی چندهدفه جهت مدل‌سازی بهینهٔ مکان مراکز بهداشتی استفاده کردند [۱۳].

جایاویرا (۲۰۱۴) امکان استفاده از *GIS* برای انتخاب مکان مدارس دولتی در سریلانکا را بررسی کرد و نشان داد که چگونه تحلیل فضایی می‌تواند با تحلیل داده‌های جغرافیایی و جمعیتی، تصمیم‌گیری را بهبود بخشد [۵]. لیائو و همکاران (۲۰۲۰) پیشنهاد کردند که تخصیص فضایی مدارس را به منظور کاهش نابرابری در فرصت‌های آموزشی با مکانیزم‌های تصادفی بهینه‌سازی کنند تا تعادل دسترسی در تعیین مکان مدارس را فراهم آورند [۱۴]. چن و همکاران (۲۰۲۳) به بهینه سازی مکان و ظرفیت خدماتی مدارس جدید به منظور توزیع عادلانهٔ منابع آموزشی پرداختند [۱۵].

با توجه به بررسی تحقیقات صورت گرفته، یکی از چالش‌های فرایند مکان‌یابی و تخصیص، وجود تعداد زیاد سناریوهای ممکن می‌باشد که بررسی تمامی آن‌ها پیچیدگی‌های زیادی به همراه دارد. اوتن و دتر (۲۰۱۲) در مساله مسیریابی اقدام به مدلسازی کاهش سناریوها با استفاده از بهبود فرایند بهینه‌سازی ترکیبی با ادغام الگوریتم جستجوی عمق اول[1] پرداخته‌اند [۱۶]. الگوریتم جستجوی عمق اول در نظریهٔ گراف‌ها برای پیمایش یا جست‌وجوی ساختارهای داده‌ای درخت یا گراف استفاده می‌شود. این رویکرد در بسیاری از کاربردهای علم کامپیوتر و هوش مصنوعی از جمله یافتن مسیر و مرتب‌سازی توپولوژیکی مناسب می‌باشد. در الگوریتم جستجوی عمق اول، کاهش تعداد گزینه‌ها و بررسی محدودیت‌ها در هر مرحله اهمیت زیادی دارد. این فرآیند شامل مراحل مختلفی از جمله تعریف لیست گزینه‌ها، بررسی محدودیت‌ها، به‌روزرسانی وضعیت فعلی و بازگشت به مراحل قبلی است *[۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹]*.

همچنین در این زمینه، ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) روشی سریع برای جست‌وجوی نزدیک‌ترین همسایهٔ تقریبی با استفاده از گراف گستردهٔ پیمایشی ارائه کردند. اگرچه این مطالعه به‌طور مستقیم بر الگوریتم جستجوی عمق اول تمرکز ندارد، اما مفهوم پیمایش سریع و کارآمد گراف با اصول الگوریتم جستجوی عمق اول و پتانسیل آن برای کاربردهای جست‌وجوی نزدیک‌ترین همسایه هم‌خوانی دارد. در کاهش سناریو، این روش‌ها می‌توانند به کاهش تعداد جست‌وجوها و افزایش سرعت دست‌یابی به همسایه‌های تقریبی کمک کنند [۲۰]. بعلاوه، یوآن و همکاران (۲۰۱۹) از یک روش مبتنی بر گراف استفاده کرده و الگوریتم جستجوی عمق اول را به عنوان بخشی از سیستم توصیه‌گر به کار بردند. این امر نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی عمق اول نه تنها محدود به پیمایش گراف نیست؛ بلکه می‌تواند در الگوریتم‌های توصیه‌گر نیز مورد استفاده قرار گیرد. در زمینهٔ کاهش سناریو، استفاده از الگوریتم جستجوی عمق اول می‌تواند به کاهش تعداد مسیرهای ممکن در گراف‌های بزرگ کمک کند، که منجر به کاهش پیچیدگی و افزایش کارایی سیستم‌های توصیه‌گر می‌شود [۲۱].

با توجه به آنچه بیان شد، فرایند مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی به طور کلی شامل ارزیابی تناسب گزینه‌های ممکن، پیش بینی تقاضا و انتخاب بهترین مکان از میان گزینه‌های ممکن با استفاده ازمدل‌های مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری و یا

[1] *Depth First Search (DFS)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

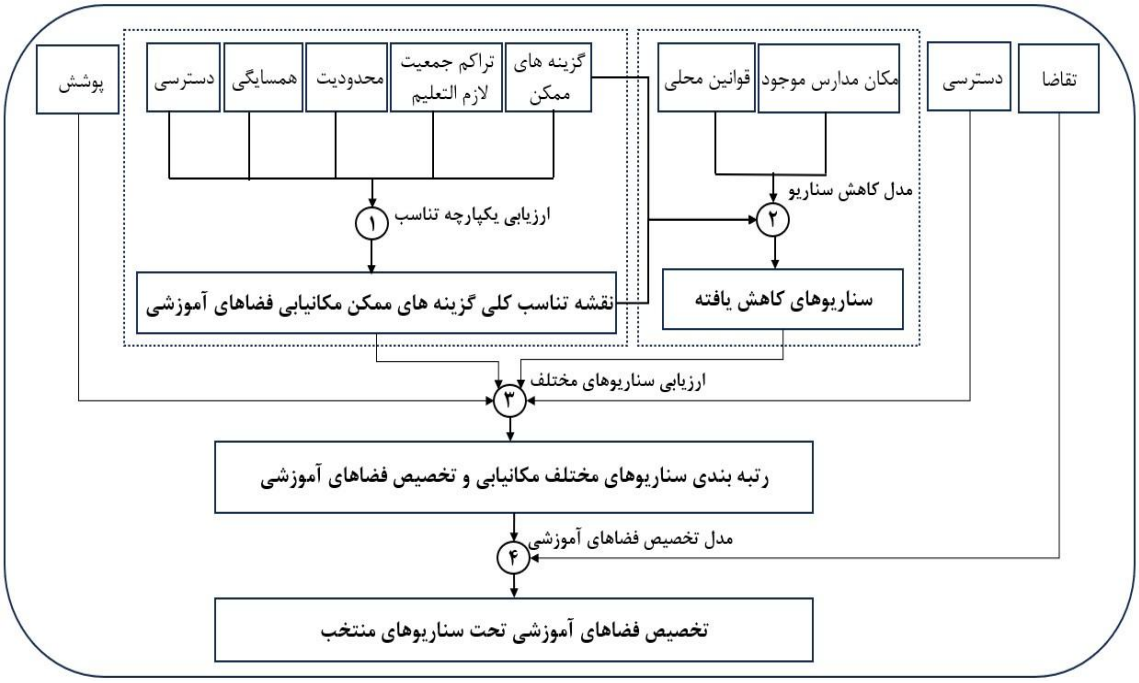
خطی می‌باشد. این در حالی است که فرایند مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی غالبا همراه با سناریوهای ممکن بسیار زیادی بوده که بررسی کردن تمام آن‌ها بسیار پیچیده می‌باشد. نوآوری تحقیق حاضر به شرح ذیل می‌باشد:

- تعریف سناریوهای متعدد در مکان‌یابی انواع فضاهای آموزشی با در نظر گرفتن پارامترهای مقطع تحصیلی و جنسیت به صورت همزمان و برآورد میزان تقاضا
- مدلسازی کاهش تعداد سناریوهای ممکن در مکان‌یابی فضاهای آموزشی با استفاده از الگوریتم جستجوی عمق اول
- تخصیص فضاهای آموزشی و رتبه‌بندی سناریوهای محدود در مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی

در ادامه، در بخش دوم ضمن بیان مواد و روش تحقیق به بررسی مراحل انجام فرایند مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی پرداخته و مدل پیشنهادی این تحقیق ارائه گردیده است و نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی در یک منطقه مطالعه موردی در بخش سوم مقاله مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهاد کارهای آینده ارائه می‌شود.

۲- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق، فرآیند مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی مطابق با شکل (۱) مدل‌سازی شده است. به منظور نیل به این مهم ابتدا نقشهٔ تناسب کلی برای گزینه‌های ممکن جهت ایجاد فضاهای آموزشی تعیین می‌شود. سپس، با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی عمق اول، فرآیند کاهش سناریو انجام می‌شود. در ادامه، سناریوهای مکان‌یابی بر اساس معیارهای مربوطه ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند و سپس با برآورد میزان تقاضا برای کل شهر به تفکیک بلوک‌های جمعیتی، فرآیند تخصیص فضاهای آموزشی تحت سناریوهای منتخب اجرا می‌شود. لازم به ذکر است در این تحقیق مقاطع تحصیلی مورد بررسی، شامل مقطع ابتدایی دخترانه، ابتدایی پسرانه، متوسطهٔ اول دخترانه و متوسطه اول پسرانه می‌باشد. در ادامه هریک از مراحل فوق تشریح می‌گردند.



شکل ۱: مراحل انجام تحقیق

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

۲-۱- ارزیابی یکپارچه تناسب فضاهای آموزشی

هدف اصلی ارزیابی تناسب زمین، پیش‌بینی ظرفیت ذاتی واحد زمین به منظور پشتیبانی از یک کاربری مشخص می‌باشد [۳]. در تحقیقات مختلف جهت ارزیابی یکپارچه تناسب اراضی، مجموعه‌ای از معیارهای مختلف محیطی، اقتصادی و اجتماعی شامل تناسب محیطی، همسایگی، دسترسی و محدودیت‌ها تعیین شده است. در این تحقیق به منظور ارزیابی یکپارچه تناسب گزینه‌های ممکن مکانیابی و تخصیص فضاهای آموزشی، از معیارهای دسترسی، همسایگی، محدودیت‌ها و تراکم جمعیت لازم التعلیم با بکارگیری رابطه (۱) استفاده شده که در ادامه به تفکیک توضیح داده می‌شود.

رابطه(۱)

$$P_{ki} = (W_n \times N_{ki} + W_a \times A_{ki} + W_d \times D_{ki}) \times Z_{ki}$$

در رابطه (۱)، N_{ki}، A_{ki}، D_{ki} و Z_{ki} به ترتیب نشان‌دهندهٔ معیارهای همسایگی، دسترسی، تراکم جمعیت لازم التعلیم و محدودیت واحد مکانی i برای کاربری k و W_n ، W_a و W_d به ترتیب وزن معیارهای همسایگی، دسترسی و تراکم جمعیت لازم التعلیم می‌باشند. در ادامه هریک از معیارهای فوق به تفکیک در بخش‌های ۲-۱-۱ الی ۲-۱-۴ تشریح شده‌اند.

۲-۱-۱- همسایگی

همسایگی شرایط محلی و ویژگی‌های یک منطقه خاص است که می‌تواند بر تغییرات کاربری زمین تأثیر بگذارد. مطالعات نشان داده که شرایط همسایگی، قدرت پیش‌بینی قابل‌توجهی در مدل‌سازی تخصیص کاربری زمین دارد. با این حال، اثرات این شرایط با افزایش فاصله کم می‌شود [۲۲]. در این تحقیق با استفاده از رابطه (۲)، میزان اثر همسایگی مدلسازی شده است.

رابطه(۲)

$$N_{ij} = e^{-d_{ij}} \times w_{ij}$$

در رابطه (۲)، Nij همسایگی پیکسل ij با کاربری i نسبت به کاربری j، dij فاصله کاربری i نسبت به کاربری j و wij وزن همسایگی کاربری i نسبت همسایگی j می‌باشد. لازم به ذکر است که در این رابطه، به هر نوع کاربری زمین بر اساس تأثیر احتمالی آن وزن داده می‌شود؛ برای مثال، مناطق مسکونی ممکن است به دلیل ثبات، وزن مثبت داشته باشند، درحالی‌که مناطق صنعتی ممکن است به دلیل سروصدا یا آلودگی، وزن منفی داشته باشند. با ترکیب این عوامل وزنی در یک شعاع معین اطراف هر گزینه، یک نمره از تأثیرات همسایگی محاسبه می‌شود که تأثیر کلی محیط اطراف را منعکس می‌کند. جدول (۱)، تاثیر انواع کاربری بر فضاهای آموزشی را نشان می‌دهد [۲۲].

لازم به ذکر است که میزان اثر همسایگی برای هر چهار مقطع با استفاده ار رابطهٔ (۲) محاسبه شده و سپس مقادیر آن در بازهٔ (۰/۱ تا ۰/۹) نرمال شده است.

۲-۱-۲- دسترسی

یکی از عوامل موثر در فرآیند تخصیص کاربری، میزان دسترسی به شبکه راه‌های موجود می‌باشد. دسترسی به عنوان یکی از عوامل موثر در فرایند تخصیص، موجب گسترش رقابت اقتصادی در سطح منطقه و تغییر ارزش زمین‌های مجاور سیستم حمل و نقل می‌گردد که این امر، خود به تغییر کاربری منتهی می‌شود. در این تحقیق با استفاده از رابطه (۳)، میزان دسترسی گزینه‌های ممکن فضاهای آموزشی با توجه به فاصله اقلیدسی آن از نزدیک‌ترین نقطه شبکه راه‌ها تعیین شده است [۲۴].

رابطه(۳)

$$A_{ik} = \frac{1}{1 + {D_i}/{a_k}}$$

در رابطه (۳)، A_{ik} بیانگر میزان دسترسی پیکسل i با کاربری k به شبکه راه‌ها، D_i بیانگر فاصله اقلیدسی پیکسل i تا نزدیک‌ترین پیکسل متعلق به شبکه راه‌ها و a_k بیانگر اهمیت دسترسی کاربری k به شبکه راه‌ها می‌باشد. پارامتر a_k بیانگر روند کاهش نیاز یک واحد مکانی با کاربری k با افزایش فاصله از شبکه راه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، هرچه میزان این پارامتر به

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

عدد یک نزدیک‌تر باشد، با افزایش فاصله از شبکه راه‌ها، تغییرات میزان دسترسی به صورت تدریجی‌تر انجام می‌گیرد. پارامتر a_k در این تحقیق برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

ذکر این نکته قابل توجه است که بعد از محاسبه دسترسی گزینه‌های ممکن به هر نوع راه، دسترسی کلی مطابق با رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

رابطه(۴)

$$A = w_1 * A_1 + w_2 * A_2 + w_3 * A_3 + w_4 * A_4$$

در رابطه(۴)، A_1، A_2، A_3 و A_4 به ترتیب نشان دهنده میزان دسترسی به راه شریانی درجه یک اصلی، میزان دسترسی به راه شریانی درجه دو اصلی، میزان دسترسی به راه شریانی درجه یک فرعی و دسترسی به راه‌های محلی می‌باشد. همچنین w_1، w_2، w_3 و w_4 به ترتیب وزن‌های اختصاص داده شده به آن‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است وزن انواع راه‌ها برای مقاطع مختلف بر حسب جدول (۲) محاسبه شده است.

جدول ۱: تاثیر انوع کاربری بر فضاهای آموزشی [۲۳]

	ابتدایی دخترانه	متوسطه دخترانه اول	ابتدایی پسرانه	متوسطه پسرانه اول
تجاری - خدماتی	۶/۲	۵	۶/۲	۶
مسکونی	۸/۹	۷/۴	۹	۸/۹
حمل‌ونقل و انبارداری	۳	۳	۲/۸	۲/۹
بایر	۴/۷	۵/۳	۴/۷	۴/۸
تاسیسات شهری	۴/۹	۴/۶	۴/۹	۴/۹
باغات و کشاورزی	۴/۵	۴/۴	۴/۴	۴/۵
آموزشی	۷/۶	۶/۵	۷/۷	۷/۷
صنعتی گروه الف	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۶
درمانی	۵/۲	۵/۱	۵/۲	۵
مذهبی	۶/۸	۵/۷	۷	۶/۹
ورزشی	۸/۲	۶/۹	۸/۳	۸/۲
اداری - انتظامی	۳/۷	۳/۶	۳/۶	۳/۶
طبیعی	۴/۲	۴/۵	۴/۱	۴/۳
فرهنگی - هنری	۷	۵/۹	۷	۷/۷
تفریحی و توریستی	۵/۳	۵/۳	۵/۳	۵/۱
پارک و فضای سبز	۷/۸	۶/۳	۷/۸	۷/۵
آموزش تحقیقات و فناوری	۵/۲	۵/۶	۵/۲	۵/۵
تجهیزات شهری	۴/۶	۴/۸	۴/۶	۴/۶

جدول ۲: وزن‌های مورد استفاده برای انواع راه‌ها

مقطع/ نوع راه	شریانی درجه ۱ اصلی	شریانی درجه ۲ اصلی	شریانی درجه ۱ فرعی	محلی
ابتدایی	۰/۱	۰/۴	۰/۳	۰/۲
متوسطه اول	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲
متوسطه دوم	۰/۲	۰/۴	۰/۱	۰/۳

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

۲-۱-۳- تراکم جمعیت لازم التعلیم

در این تحقیق به منظور محاسبه تراکم جمعیت لازم التعلیم از رابطه (۵) استفاده شده است که در آن تعداد دانش آموزان در فاصله شعاع دسترسی هر فضای آموزشی موجود که به صورت مساحت محدوده دسترسی محاسبه شده است بدست می‌آید. این شاخص به عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی یکپارچه تناسب گزینه‌های ممکن در نظر گرفته شده است (شکل (۱)).

رابطه(۵)

$$D_i = \frac{P_i}{A_i}$$

در رابطه (۵)، D_i تراکم دانش آموزی گزینه ممکن i ، P_i مجموع تمامی جمعیت دانش آموزی در شعاع دسترسی گزینه ممکن و A_i مساحت محدوده سرویس دهی می‌باشد. لازم به ذکر است که محاسبه فاصله در این بخش به صورت شبکه می‌باشد [۲۳].

۲-۱-۴- محدودیت‌ها

تخصیص زمین به یک کاربری، تحت تاثیر سیاست‌ها و عوامل محدودکننده زیادی قرار دارد. این سیاست‌ها و محدودیت‌ها شامل مقررات و آیین نامه‌ها، طرح‌های توسعه مصوب و مجموعه تهدیدات محیطی، اقتصادی و اجتماعی می‌باشند. در این تحقیق حریم عوارض طبیعی، حریم مراکز مهم و حساس، حریم زیرساخت‌ها و حریم آلاینده‌ها به عنوان محدودیت و به صورت باینری در نظر گرفته شده‌اند. مطابق با ضابطه ۸۲۷ [۲۳] محدودیت‌ها در قالب جدول (۳) لحاظ شده‌اند.

جدول ۳: محدودیت‌ها [۲۳]

نام معیار	نام زیر معیار	حریم
حریم عوارض طبیعی	حریم رودخانه و مسیل	۲۰ متر
حریم مراکز مهم و حساس	حریم اماکن نظامی	۲۰۰ متر
حریم مراکز مهم و حساس	حریم ورزشگاه	۱۰۰ متر
حریم مراکز مهم و حساس	حریم جایگاه سوخت	۱۵۰ متر
حریم مراکز مهم و حساس	حریم مراکز صنعتی	۱۰۰ متر
حریم مراکز مهم و حساس	حریم مراکز درمانی	۱۵۰ متر
حریم زیرساخت ها	حریم پایانه مسافربری برون شهری	۲۵۰ متر
حریم زیرساخت ها	حریم پل‌ها، تونل‌ها و تقاطع‌ها	۱۰۰ متر
حریم آلاینده ها	حریم گورستان	۵۰۰ متر
حریم آلاینده ها	حریم دامداری	۵۰۰ متر

۲-۲- مدل کاهش سناریو

در بسیاری از کاربردهای دنیای واقعی، مانند مکان‌یابی تسهیلات، پیچیدگی محاسباتی به صورت نمایی با افزایش تعداد سناریوهای مورد نظر افزایش می‌یابد. بنابراین، کاهش سناریو یک بخش مهم در فرآیندهای بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری است، به ویژه زمانی که با مسائل در مقیاس بزرگ سروکار داریم. هدف اصلی کاهش سناریو، ساده‌سازی سناریوهای پیچیده و بزرگ به یک زیرمجموعهٔ قابل مدیریت است که به طور دقیق مسئلهٔ اصلی را نشان می‌دهد.

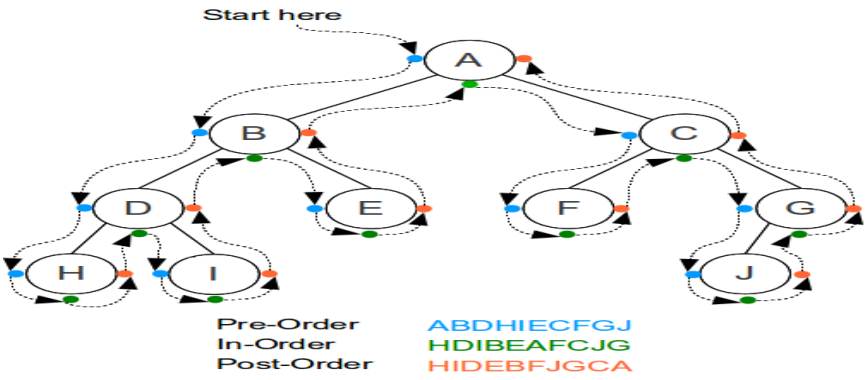
همانطور که پیش‌تر در بخش مقدمه عنوان شد، یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش تعداد سناریوها، استفاده از الگوریتم جست‌وجوی عمق اول است که یک تکنیک پیمایش گراف است و به‌طور نظام‌مند سناریوهای ممکن را بررسی می‌کند. این الگوریتم فضای سناریو را به‌طور کامل کاوش کرده و زیرمجموعه‌ای را انتخاب

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

می‌کند که ساختار احتمالاتی و نتایج مرتبط با فرآیند تصمیم‌گیری را حفظ می‌کند [۲۵ و ۲۶]. در ادامه، در بخش ۲-۲-۱ به بررسی الگوریتم جستجوی عمق اول پرداخته شده است. سپس در بخش ۲-۲-۲ نحوه هرس کردن و در نهایت در بخش ۲-۲-۳ روش پیشنهادی استفاده از الگوریتم جستجوی عمق اول در این تحقیق ارائه شده است.

۲-۲-۱- الگوریتم جستجوی عمق اول

جست‌وجوی عمق اول یک الگوریتم بنیادی است که در نظریهٔ گراف‌ها برای پیمایش یا جست‌وجوی ساختارهای داده‌ای درخت یا گراف استفاده می‌شود *[۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹]*. روش جستجو در این الگوریتم بدین صورت است که الگوریتم از یک رأس اولیه شروع کرده و آن را به‌عنوان "پیمایش‌شده" علامت می‌زند. از این رأس، الگوریتم به یک رأس مجاور و پیمایش‌نشده حرکت می‌کند، آن را پیمایش‌شده علامت می‌زند و این فرآیند را ادامه می‌دهد. اگر الگوریتم به رأسی برخورد کند که هیچ رأس مجاور پیمایش‌نشده‌ای نداشته باشد، به رأس قبلی بازمی‌گردد و جست‌وجو را از آنجا ادامه می‌دهد. این فرآیند تا زمانی که همهٔ رأس‌های قابل دسترسی از رأس اولیه پیمایش شوند تکرار می‌شود [۲۷]. این الگوریتم می‌تواند به صورت تکراری یا بازگشتی پیاده‌سازی شود. در نهایت الگوریتم جست‌وجوی عمق اول می‌تواند برای یافتن مسیر بین دو رأس در یک گراف استفاده شود. با حفظ رکورد مسیر طی شده، الگوریتم جست‌وجوی عمق اول می‌تواند تعیین کند که آیا مسیری از رأس شروع به رأس هدف وجود دارد یا خیر [۱۸]. شکل (۲) نحوه پیمایش این الگوریتم را نشان می‌دهد.



شکل ۲: پیمایش پیشوندی، پیمایش میانوندی و پیمایش پسوندی در الگوریتم جستجوی عمق اول

در این شکل منظور از پیمایش پیشوندی[1] پیمایش میانوندی[2] و پیمایش پسوندی[3] به شرح زیر می‌باشند:

- پیمایش پیشوندی: در این نوع پیمایش، ریشه اولین گره‌ای است که بازدید می‌شود. الگوریتم ابتدا مسیر چپ را دنبال کرده و هر گره‌ای را که می‌بیند بازدید می‌کند. سپس مسیرهای راست را دنبال کرده و همچنان گره‌ها را به ترتیب بازدید می‌کند تا به ادامه مسیر برسد.
- پیمایش میانوندی: در این نوع پیمایش، گره‌ها به ترتیب صعودی بازدید می‌شوند. اگر درخت به صورت جستجوی دودویی[4] باشد، از کوچک‌ترین مقدار در گره‌ای که در سمت چپ درخت قرار دارد شروع شده

[1] *Pre-order Traversal*
[2] *In-order Traversal*
[3] *Post-order Traversal*
[4] *Binary Search Tree*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

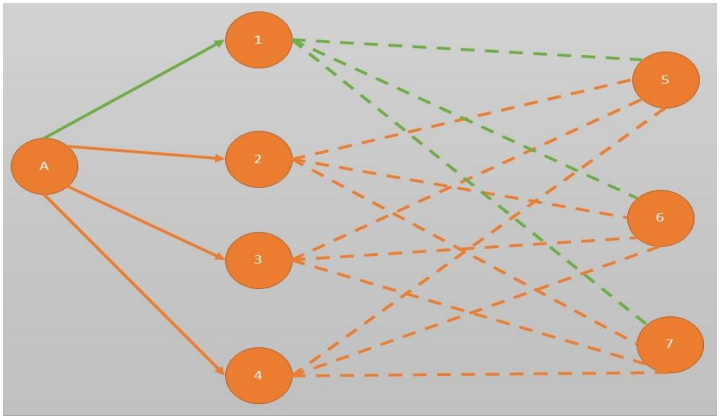
و با بزرگ‌ترین مقدار در گره‌ای که در سمت راست درخت قرار دارد، تمام می‌شود.

- پیمایش پسوندی: در این نوع پیمایش ابتدا گره‌های مرتبط با یک گره بازدید شده و سپس خود گره بازدید می‌شود. این روش به ویژه زمانی مفید است که نیاز به دسترسی به گروه‌های برگ پیش از گره ریشه باشد. بنابراین الگوریتم ابتدا تمام زیر یال‌های چپ را بررسی کرده و سپس تمام زیر یال‌های راست را بررسی می‌کند. در نهایت نیز گره ریشه بازدید می‌شود.

۲-۲-۲- هرس کردن

یکی از چالش‌های اصلی در الگوریتم جستجوی عمق اول، احتمال بررسی تعداد زیادی از سناریوها به‌ویژه در مسائلی با فضاهای جست‌وجوی بزرگ یا بی‌نهایت بوده که در این صورت نیاز به هرس می‌باشد. هرس در الگوریتم جست‌وجوی عمق اول به معنای تکنیکی است که با حذف شاخه‌های خاصی از درخت جست‌وجو که احتمالاً به یک راه‌حل بهینه یا ممکن منجر نمی‌شوند، انجام می‌گیرد. با قطع این شاخه‌ها در مراحل اولیه، الگوریتم تعداد سناریوهایی را که نیاز به ارزیابی دارند را کاهش داده که این فرایند می‌تواند به طور قابل توجهی کارایی و سرعت را بهبود بخشد [۲۸].

در الگوریتم‌هایی مانند جست‌وجوی عمق اول، هرس به کاهش تعداد سناریوها یا حالت‌هایی که باید بررسی شوند کمک می‌کند و منجر به یافتن سریع‌تر راه‌حل‌ها و استفادهٔ بهینه‌تر از منابع می‌شود [۲۹]. شکل (۳) مثالی از اعمال فرایند هرس نشان داده شده است. در این شکل اگر نقطه شماره ۱ نقطه‌ای باشد که در فرایند جستجو انتخاب شده باشد، برای انتخاب نقطه شماره (۱) تمامی مسیرهایی که از نقاط ۲، ۳ و ۴ به نقاط ۵، ۶ و ۷ ختم می‌شوند هرس شده و کاهش می‌یابند.



شکل ۳: نمونه ای از هرس کردن در الگوریتم جستجوی عمق اول

۲-۲-۳- مدلسازی کاهش سناریوها در مکان‌یابی فضاهای آموزشی با استفاده از الگوریتم جستجوی عمق اول

روش استفاده شده از الگوریتم جستجوی عمق اول برای کاهش تعداد سناریوهای ممکن در فرایند مکان‌یابی فضاهای آموزشی در این تحقیق شامل شش مرحله نمایش منطقه گراف، ایجاد پوش محدب برای گزینه‌های ممکن، تعریف سناریوها، جست‌وجوی عمقی برای کاوش سناریوها، انجام هرس و اعتبارسنجی راه حل‌ها می‌باشد (شکل (۴)). داده‌های ورودی این روش مکان مدارس موجود و گزینه‌های ممکن و داده‌های مکانی مرتبط (مانند شبکه‌های راه‌ها و اطلاعات سرشماری) می‌باشد. این روش به بررسی راه‌حل‌های ممکن می‌پردازد و اجازه می‌دهد تا سناریوهای بهینه یا

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

نزدیک به بهینه شناسایی شوند و در عین حال گزینه‌های غیرمفید در مراحل ابتدایی فرآیند حذف شوند. در ادامه گام‌های اجرایی مدل کاهش سناریو تشریح می‌شود.

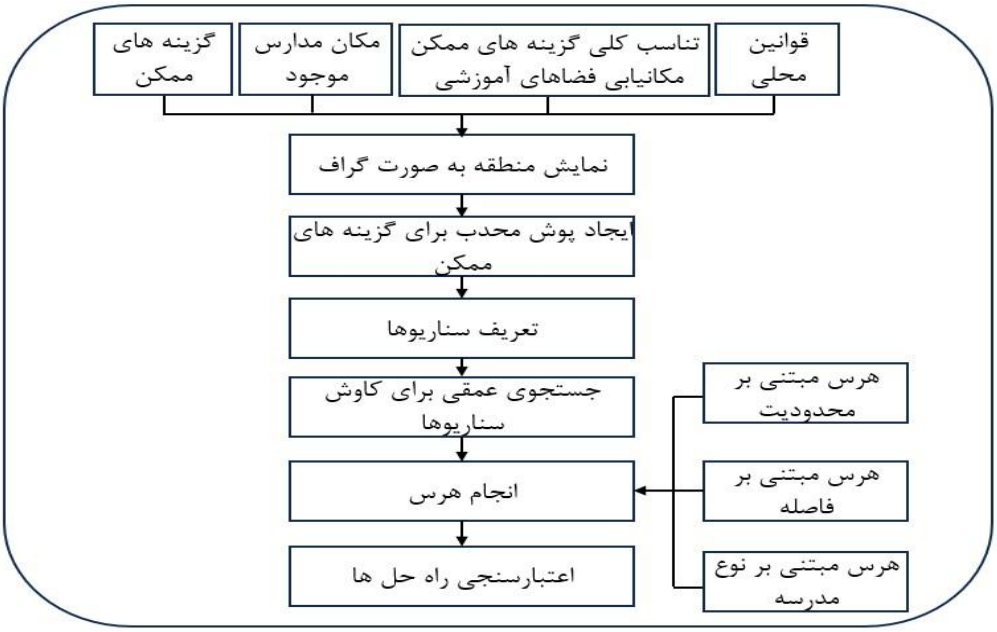
- **مرحله اول – نمایش منطقه به صورت گراف**: در این مرحله منطقه مورد مطالعه به عنوان یک گراف نمایش داده می‌شود که در آن گره‌ها به مکان گزینه‌های ممکن و لبه‌ها به ارتباطات بین این مکان‌ها اشاره دارند. وزن لبه‌ها بر اساس عواملی مانند فاصله تعیین می‌شود، که برای محاسبهٔ کوتاه‌ترین مسیرها و تعیین نزدیکی مکان گزینه‌های ممکن به زیرساخت‌های موجود بسیار مهم است. به منظور نیل به این مهم، با استفاده از بستهٔ *momepy*، شبکهٔ خیابانی به یک گراف شبکه (G) تبدیل می‌شود.
- **مرحله دوم – ایجاد پوش محدب برای گزینه‌های ممکن**: برای هر مکان گزینه ممکن، مدل پوش محدب[1] نقاطی را که در فاصلهٔ مشخصی از هر گزینه ممکن قابل دستیابی هستند، محاسبه می‌کند. پوش محدب نشان‌دهندهٔ کوچک‌ترین چندضلعی است که می‌تواند تمام نقاط قابل دستیابی را محصور کند و به‌طور مؤثر منطقهٔ نفوذ هر مکان گزینه ممکن را تعیین کند. این چندضلعی سپس برای انجام یک اتصال فضایی با مکان گزینه‌های ممکن استفاده می‌شود، که در آن مکان‌هایی که در محدوده نفوذ هر مدرسه قرار دارند، شناسایی می‌شوند. هدف از این مرحله، کاهش لیست مکان گزینه‌های ممکن می‌باشد.
- **مرحله سوم – تعریف سناریوها**: هسته اصلی مدل ارائه شده در این بخش تعریف سناریوها بر اساس نتایج مدل مکان‌یابی مدارس می‌باشد. یک سناریو با یک حالت نمایش داده می‌شود که در واقع یک بردار نشان‌دهندهٔ نوع مدرسهٔ (در صورت وجود) اختصاص داده شده به هر مکان گزینه ممکن است. برای مثال، یک حالت می‌تواند سناریویی را نمایش دهد که در آن مکان‌های خاصی به عنوان مدارس ابتدایی دخترانه و برخی دیگر به‌عنوان مدارس متوسطه پسرانه تعیین شده‌اند. چالش در ارزیابی این حالات به‌طور کارآمد برای شناسایی آن‌هایی است که تمام محدودیت‌ها را برآورده می‌کنند و استراتژی مکان‌یابی کلی را بهینه می‌کنند.
- **مرحله چهارم – جست‌وجوی عمقی برای کاوش سناریوها**: در این مرحله، الگوریتم جستجوی عمق اول برای کاوش فضای حالت به‌کار گرفته می‌شود. به منظور نیل به این مهم، با شروع از یک حالت خالی (بدون مکان‌یابی مدارس)، الگوریتم به‌طور بازگشتی همهٔ پیکربندی‌های ممکن را با اضافه کردن یک مدرسه در هر بار به حالت بررسی می‌کند. الگوریتم جستجوی عمق اول به‌ویژه برای این مسئله مناسب است، زیرا اجازه می‌دهد مدل فضای سناریوها را به‌صورت عمیق کاوش کند و به‌طور بالقوه راه‌حل‌هایی را پیدا کند که همهٔ محدودیت‌ها را در مراحل ابتدایی جست‌وجو برآورده می‌کنند.
- **مرحله پنجم – انجام هرس**: هرس یک تکنیک اساسی است که برای حذف سناریوهای غیرمفید از فرایند بررسی استفاده می‌شود. مدل ارائه شده در این تحقیق از چندین روش هرس بهره می‌برد که در ادامه ارائه شده‌اند.
  - **هرس مبتنی بر محدودیت**: سناریوهایی که محدودیت‌های پایه‌ای را برآورده نمی‌کنند (مانند حداقل تعداد دانش‌آموزان) بلافاصله هرس می‌شوند.
  - **هرس مبتنی بر فاصله**: سناریوهایی که در آن فاصلهٔ بین مدارس و مناطق نفوذ تعیین‌شده آن‌ها از آستانه‌های پیش‌فرض بیشتر است، نیز هرس می‌شوند.
  - **هرس مبتنی بر نوع مدرسه**: مدل توزیع انواع مختلف مدارس (مانند ابتدایی در مقابل متوسطه) را

[1] *Convex Hull*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

در فضای حالت پیگیری می‌کند. اگر یک سناریو به احتمال زیاد منجر به توزیع نامتوازنی شود که تقاضا را در بین تمام انواع مدارس برآورده نکند، به صورت ابتدایی از جست‌وجو حذف می‌شود.

- **مرحله ششم - اعتبارسنجی راه‌حل‌ها**: هنگامی که یک حالت کامل (سناریو) حاصل می‌شود، مدل آن را در برابر تمام محدودیت‌ها اعتبارسنجی می‌کند، که شامل این بررسی است که آیا سناریو پوشش کافی برای تمام جمعیت دانش‌آموزان فراهم می‌نماید؟ آیا محدودیت‌های فاصله را رعایت می‌کند؟ و آیا نیازهای توزیعی برای انواع مختلف مدارس را برآورده می‌کند یا خیر. اگر یک حالت تمام بررسی‌های اعتبارسنجی را پشت سر بگذارد، به‌عنوان یک راه‌حل معتبر در نظر گرفته شده و به لیست راه‌حل‌های ممکن اضافه می‌شود. در نتیجه مدل به کاوش سایر سناریوها ادامه می‌دهد تا زمانی که تمام امکان‌ها بررسی شده یا تعداد کافی از راه‌حل‌های معتبر شناسایی شود.



شکل ۴: مدل پیشنهادی الگوریتم کاهش سناریو

۲-۳- ارزیابی سناریوهای مختلف

هدف از ارزیابی سناریوها، انتخاب سناریوهای بهینه از مجموعه راه‌حل‌های معتبر است. به منظور نیل به این مهم، در این تحقیق از سه شاخص میانگین دسترسی، میانگین پوشش و میانگین تناسب مطابق رابطه (۶) استفاده شده است.

رابطه(۶)

$$K_i = A_i * w_A + C_i * w_c + S_i * w_s$$

در رابطه(۶)، K_i مجموع وزن دار سناریو i می‌باشد. در رابطه فوق A_i میانگین دسترسی سناریو i برای مقاطع ابتدایی (دخترانه و پسرانه) و متوسطه (دخترانه و پسرانه)، C_i میانگین پوشش سناریو i برای مقاطع ابتدایی (دخترانه و پسرانه) و متوسطه (دخترانه و پسرانه) و S_i میانگین تناسب سناریو i برای مقاطع ابتدایی (دخترانه و پسرانه) و متوسطه (دخترانه و پسرانه) می‌باشد که به ترتیب با استفاده از روابط (۷) الی (۹) محاسبه شده‌اند.

رابطه(۷)

$$A_i = \frac{a_{i1} + a_{i2} + a_{i3} + a_{i4}}{4}$$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

در رابطه (۷)، a_{i1} دسترسی ابتدایی دخترانه، a_{i2} دسترسی ابتدایی پسرانه، a_{i3} دسترسی متوسطه دخترانه و a_{i4} دسترسی متوسطه پسرانه می‌باشد.

رابطه(۸)

$$C_i = \frac{c_{i1} + c_{i2} + c_{i3} + c_{i4}}{4}$$

در رابطه (۸)، c_{i1} پوشش ابتدایی دخترانه، c_{i2} پوشش ابتدایی پسرانه، c_{i3} پوشش متوسطه دخترانه و c_{i4} پوشش متوسطه پسرانه می‌باشد.

رابطه(۹)

$$S_i = \frac{s_{i1} + s_{i2} + s_{i3} + s_{i4}}{4}$$

در رابطه (۹)، s_{i1} تناسب ابتدایی دخترانه، s_{i2} تناسب ابتدایی پسرانه، s_{i3} تناسب متوسطه دخترانه و s_{i4} تناسب متوسطه پسرانه می‌باشد.

۲-۴- تخصیص فضاهای آموزشی

پس از تعیین انواع سناریوهای مورد نظر، گام بعدی، تخصیص نقاط تقاضا (بلوک‌های جمعیتی) به مدارس موجود و همچنین گزینه‌های ممکن فضاهای آموزشی که در سناریوهای منتخب تعیین شده‌اند، می‌باشد. به منظور نیل به این مهم، در این تحقیق از مدل p-میانه[1] استفاده شده است. در مدل p-میانه مسأله این است که فاصله مدارس موجود و گزینه‌های ممکن فضای آموزشی از بلوک‌های جمعیتی کمینه گردد. به عبارت دیگر، هدف از مسئله p – میانه، تعیین مکان p مرکز است به‌طوری که حداکثر فاصله هر مرکز تا نقاط تقاضای خدمات کمینه شود. در این رویکرد، به‌جای در نظر گرفتن یک فاصلهٔ پوشش ثابت، مکان‌یابی یک تعداد مشخصی از مراکز به گونه‌ای انجام می‌شود که فاصلهٔ پوشش به حداقل رسانده شود. در این نوع مسائل، هدف از کاهش هزینه یا افزایش سود نیست، بلکه تلاش برای نزدیک کردن تسهیلات عمومی به تمامی نقاط تقاضا است (رابطه(۱۰)) [۸ و ۱۰].

رابطه(۱۰)

$$\text{minimize} \sum_{j=0}^{n} f_j \cdot y_j + \sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{n} c_{ij} \cdot x_{ij}$$

$$\sum_{j=0}^{n} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{0.1. \dots . m\}$$

$$\sum_{j=0}^{n} y_j = p$$

$$\sum_{i=0}^{m} f_{i\backslash cdot x_{ij}} \le m_{j\backslash cdot y_j} \quad \forall j \in \{0.1. \dots . n\}$$

$$X_{ij} \in \{0.1\} \qquad \forall\, i.j$$

$$Y_j \in \{0.1\} \qquad \forall\, j$$

در رابطه (۱۰)، c_{ij}، فاصلهٔ نقطه تقاضای i جمعیتی از مرکز خدماتی j، x_{ij} بلوک جمعیتی i که به مرکز خدماتی j اختصاص داده شده، y_j تعداد مرکز خدماتی اختصاص داده شده، f_j ظرفیت بلوک‌های جمعیتی، P تعداد مرکز خدماتی قابل دسترس و m_j ظرفیت مرکز خدماتی j می‌باشند. اهداف در نظر گرفته در این مساله شامل به حداقل رساندن مجموع فاصله سفر دانش آموزان می‌باشد درحالی‌که اطمینان حاصل می‌شود که هر دانش‌آموز به یک مدرسه تخصیص داده شده و مدارس بیش از ظرفیت خود دانش آموز ندارند. ذکر این نکته قابل توجه است که هر مدرسه دارای ظرفیت حداکثر است، که نمایانگر حداکثر تعداد دانش‌آموزانی است که می‌تواند در خود جای دهد. این محدودیت ظرفیت می‌بایست در فرایند اجرای مدل بهینه‌سازی لحاظ شود.

لازم به ذکر است که در این تحقیق با توجه به بررسی روند افزایش جمعیت منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ (به ترتیب برابر با ۴۶۰۵۵، ۵۶۱۲۶ و ۶۸۱۲۱ نفر)، فرض بر افزایش جمعیت لازم التعلیم و نیاز به تخصیص جمعیت دانش آموزی جدید به گزینه‌های ممکن می‌باشد.

۳- پیاده‌سازی و نتایج

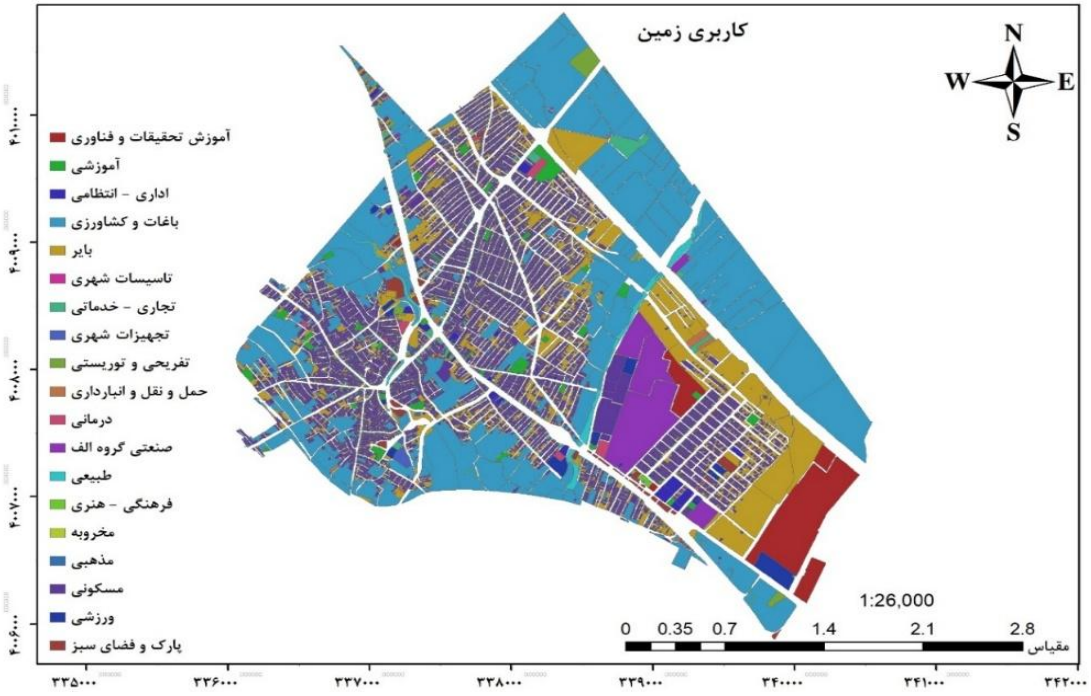
پژوهش حاضر در شهر خرمدره واقع در استان زنجان صورت گرفته است. این شهر با دارا بودن ۳۸ فضای آموزشی، دارای وسعتی برابر با ۲۹۷۳ هکتار و جمعیتی

[1] *Capacity-constrained p-median problem*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

معادل با ۵۵۳۶۸ نفر است (شکل (۵)). در ادامه نتایج ارزیابی یکپارچه تناسب برای گزینه‌های ممکن فضاهای آموزشی در بخش ۳-۱، نتایج مدل کاهش سناریو در بخش ۳-۲ و نتایج تخصیص فضاهای آموزشی در بخش ۳-۳ ارائه می‌گردد. در نهایت در بخش ۳-۴ به ارزیابی سناریوها پرداخته می‌شود.



شکل ۵: منطقه مورد مطالعه

۳-۱- نتایج ارزیابی یکپارچه تناسب برای گزینه‌های ممکن فضاهای آموزشی

به منظور ارزیابی تناسب زمین برای انواع فضاهای آموزشی در این تحقیق، ابتدا نقشه‌های معیار عوامل مؤثر شامل دسترسی، همسایگی و تراکم جمعیت دانش آموزان با استفاده از روش ارائه شده در بخش ۲-۱ تولید شدند. سپس، با در نظر گرفتن وزن هرکدام از معیارها برای چهار نوع فضای آموزشی که با استفاده از نظر کارشناسی و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1] بدست آمده و به کارگیری روش ترکیب خطی وزندار[2] نقشه‌های تناسب کلی گزینه‌های ممکن برای انواع فضاهای آموزشی تهیه شد. لازم به ذکر است مناطقی که در حریم محدودیت‌های در نظر گرفته‌شده در این تحقیق قرار داشتند، از نقشه تناسب حذف شدند. همچنین از میان گزینه‌های ممکن ارزیابی شده، گزینه‌هایی که دارای بیست درصد بالاترین میزان تناسب بودند انتخاب شدند. در ادامه نتایج پیاده سازی هر بخش به تفکیک ارائه شده است.

محدودیت: در این بخش ابتدا فاصله‌های اقلیدسی برای حریم‌های جدول (۳) محاسبه شده است. سپس برای هر کاربری کلیه‌ی محدودیت‌ها تلفیق شده و نقشه کلی محدودیت‌ها بدست آمده است (شکل (۶)).

دسترسی: در این بخش ابتدا دسترسی برای خیابان‌های شریانی درجه ۱ و شریانی درجه ۲ (اصلی و فرعی) و خیابان‌های محلی براساس رابطه (۳) محاسبه

[1] *Analytical Hierarchy Process (AHP)*
[2] *Weighted Linear Combination (WLC)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

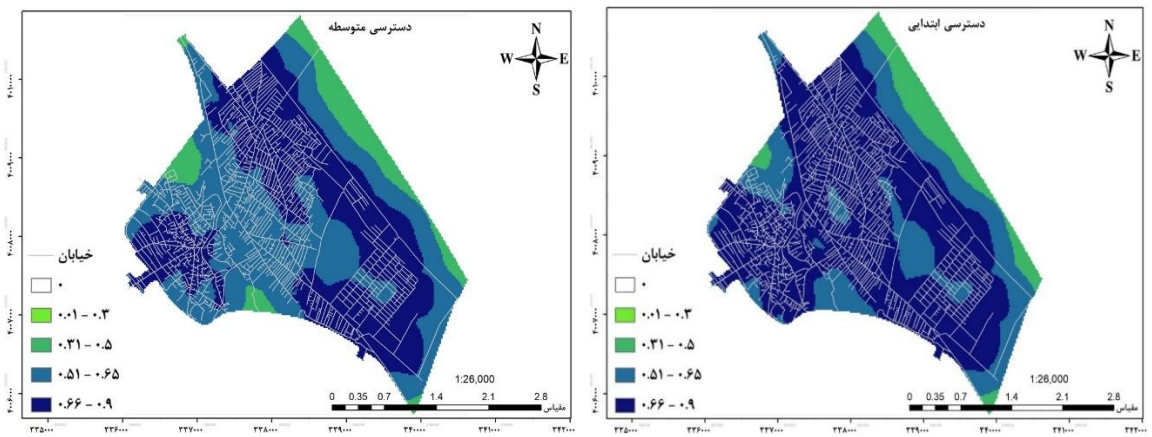
می‌شود. در مرحله بعد به دلیل وجود مدارس در مقاطع مختلف، بر اساس وزن‌های کارشناسی دسترسی هر مقطع از تلفیق چهار نوع راه و براساس رابطه (۴) و جدول (۲) بدست می‌آید (شکل (۷)).

همسایگی: نقشه همسایگی با بررسی انواع کاربری و تاثیر آنها بر یک یا چند کاربری مشخص می‌شود. به منظور مدلسازی اثر همسایگی، ابتدا مطابق با جدول(۱) تاثیر هر کاربری بر فضاهای آموزشی مشخص شده است. سپس نقشه همسایگی برای مقاطع ابتدایی و متوسطه طبق رابطه (۲) بدست آمده و مقدار آن بین ۰/۱ تا ۰/۹ نرمال سازی شده است. لازم به ذکر است در این تحقیق شعاع همسایگی ۳۰۰ متر در نظر گرفته شد (شکل (۸)).

تراکم جمعیت لازم التعلیم: به منظور محاسبه تراکم جمعیت لازم التعلیم از رابطه (۵) استفاده شده و سپس مقدار آن نرمالسازی می‌شود (شکل (۹)).

تناسب کلی: پس از تولید نقشه‌های معیار تراکم، دسترسی و همسایگی جهت برآورد کلی نقشه تناسب، این نقشه‌ها با استفاده از رابطه (۱) با هم تلفیق می‌شوند. وزن اختصاص داده شده به این معیارها به ترتیب شامل ۰/۴ ، ۰/۳ و ۰/۳ می‌باشد (شکل (۱۰)).

شکل ۶: نقشه محدودیت توسعه فضاهای آموزشی شهر خرمدره

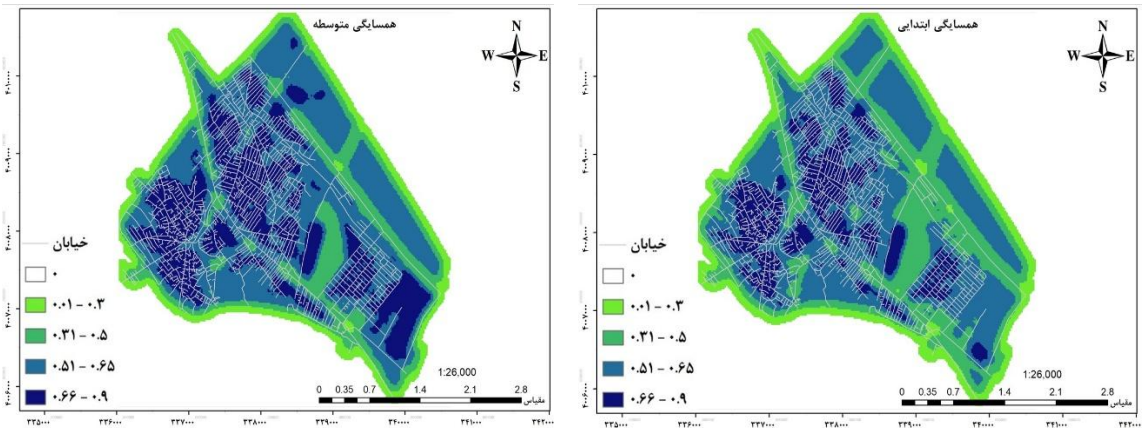


(ب) (الف)

شکل ۷: نقشه دسترسی برای (الف) مقطع ابتدایی و (ب) مقطع متوسطه

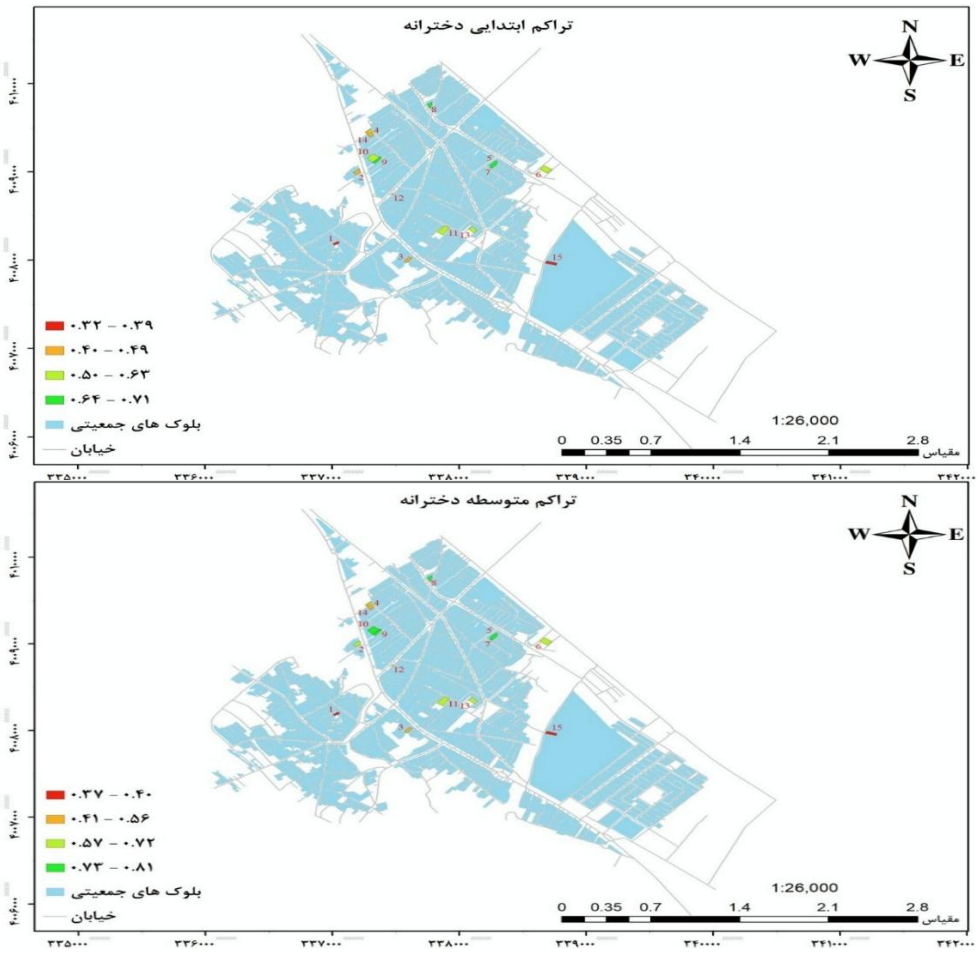
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]



(ب) (الف)

شکل ۸: نقشه همسایگی برای (الف) مقطع ابتدایی و (ب) مقطع متوسطه



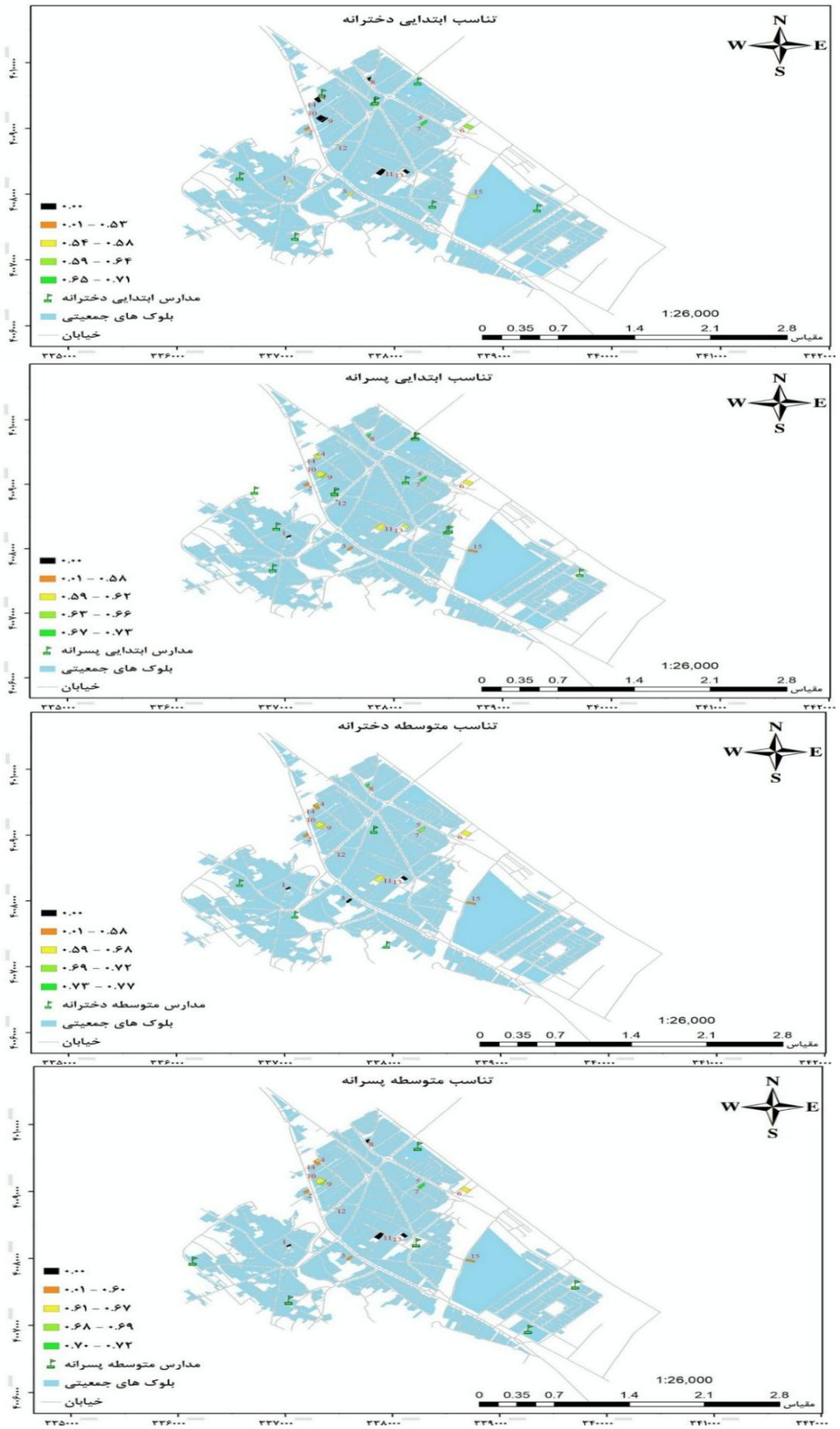
(الف)

(ب)

شکل ۹: نقشه تراکم برای مقطع (الف) ابتدایی دخترانه و (ب) متوسطه دخترانه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]



(الف)

(ب)

(ج)

(د)

شکل ۱۰: تناسب کلی برای مقطع (الف) ابتدایی دخترانه، (ب) ابتدایی پسرانه، (ج) متوسطه دخترانه و (د) متوسطه پسرانه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

۳-۲- نتایج مدل کاهش سناریو

هدف اصلی مدل کاهش سناریو در این تحقیق، شناسایی مناسب‌ترین مکان‌ها برای مدارس با توجه به قیود مختلف است. این فرآیند منجر به کاهش تعداد سناریوهای ممکن و شناسایی راه‌حل‌های بهینه می‌شود. در ادامه به بررسی نتایج این مدل پرداخته خواهد شد. لازم به ذکر است قیود در نظر گرفته شده در مدل ارائه شده حداقل فاصله بین مدارس با جنسیت مخالف در مقطع متوسطه و همچنین حداکثر ظرفیت مدارس می‌باشد که براساس ضوابط تعیین شده در ضابطه ۸۲۷ [۲۳] در نظر گرفته شده‌اند. بدین منظور، حداقل فاصله بین مدارس دخترانه و پسرانه در مقطع متوسطه ۴۰۰ متر می‌باشد. همچنین در این مدل، برای هر مقطع حداکثر تعداد ۱۰ کلاس ۳۰ نفره در نظر گرفته شد.

مدل کاهش سناریو با توجه به تعداد زیاد سناریوهای ممکن برای مکان‌یابی مدارس، از الگوریتم جستجوی عمق اول برای جستجوی فضای راه‌حل‌ها استفاده می‌کند. در حالت اولیه، فضای مسئله شامل ۴۶۰،۸۰۰،۰۰۰ سناریوی مختلف بوده که این سناریوها از ترکیب‌های مختلف گزینه‌های ممکن برای مقاطع مختلف مدارس (ابتدایی، متوسطه) و جنسیت (دخترانه، پسرانه) تشکیل شده است. الگوریتم جستجوی عمق اول در این تحقیق، با انتخاب گزینه‌های ممکن برای هر مقطع به صورت مرحله‌ای، فضای جستجو را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، در اولین مرحله، پس از انتخاب گزینه‌ای برای ابتدایی پسرانه، گزینه‌های مرحله بعدی به روزرسانی می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که فقط گزینه‌های معتبر برای انتخاب در دسترس باشند. این فرآیند با به‌روزرسانی مربوط به گزینه‌های ممکن در هر مرحله از جستجو ادامه می‌یابد. جدول(۴)، ده سناریوی ایجاد شده را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. به عنوان مثال، پس از انتخاب دو مدرسه ابتدایی دخترانه در گزینه‌های شماره ۱ و ۲ سایر گزینه‌ها برای مقطع ابتدایی دخترانه (گزینه‌های ۳ تا ۱۵) به صفر تغییر پیدا کردند که به معنای غیرقابل انتخاب شدن آنها می‌باشد. با این حال، ۱۳ گزینه دیگر هنوز برای مقاطع دیگر معتبر باقی ماندند.

پس از اجرای الگوریتم جستجوی عمق اول، مدل موفق به تولید ۲۰۵۸۱ سناریوی قابل قبول شد که همگی با رعایت قیود مورد نظر، از جمله فاصله مناسب بین مدارس و تعداد کلاس‌های مورد نیاز، همراه بودند. لازم به ذکر است یکی از مهم‌ترین قیود در این مدل، فاصله بین مدارس متوسطه دخترانه و پسرانه بود که باید حداقل ۴۰۰ متر باشد. الگوریتم جستجوی عمق اول این قید را در تمامی مراحل جستجو اعمال کرده و تنها سناریوهایی را که این قید را رعایت می‌کنند، به عنوان راه‌حل‌های معتبر در نظر می‌گیرد. همچنین در این مدل، برای هر مقطع حداکثر تعداد ۱۰ کلاس ۳۰ نفره در نظر گرفته شد. الگوریتم در طول فرآیند جستجو، تعداد کلاس‌های تخصیص‌یافته به هر مقطع را بررسی کرده و مطمئن می‌شود که تمامی سناریوهای نهایی از این نظر معتبر هستند. جدول (۴) سناریوهای ایجاد شده در این بخش و نوع فضاهای آموزشی اختصاص داده شده به هر گزینه ممکن را نمایش می‌دهد. در این جدول، اعداد ۱ تا ۱۵ نشان دهنده شماره گزینه‌های ممکن مسئله و کدهای ۱ تا ۴ نشان دهنده نوع مدرسه تخصیص داده شده به هر گزینه می‌باشد.

در نهایت برای اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از مدل کاهش سناریو، نتایج اجرای مدل ارائه شده با ثابت در نظر گرفتن تقاضا و در نظر گرفتن حداکثر تعداد ۵ کلاس برای هر گزینه ممکن در جدول (۵) ارائه گردید. همچنین به منظور بررسی اثر ترتیب پیمایش گراف در الگوریتم جستجوی عمق اول بر نتایج حاصل شده، مدل با ترتیب متفاوت برای شروع پیمایش گراف مجددا اجرا گردید. نتایج اجرای مدل در جدول (۶) ارائه شده‌اند. با توجه به نتایج حاصل شده، در هر دو حالت دقیقا همان تعداد سناریوها حاصل شده که این مساله بیانگر کارایی و تکرارپذیری مدل می‌باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

همچنین با ثابت ماندن میـزان تقاضـا و کـاهش تعـداد حداکثر کلاس‌های هر گزینه ممکن، تعداد گزینـه‌هـای ممکن مورد نیاز افـزایش یافـت. بـا ایـن حـال، ترتیـب متفاوت برای پیمـایش گـراف در الگـوریتم جسـتجوی عمق اول بر تعداد گزینه‌هـای ممکـن مـورد نیـاز تـاثیر نداشته است.

جدول۴: نوع مدارس پیشنهاد شده در هر سناریو به منظور تخصیص به گزینه‌های ممکن مسئله در سناریوهای منتخب

شماره سناریو	شماره گزینه ممکن (۱ تا ۱۵)														
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۲	۴	۰
۲	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲	۳	۰	۲	۴	۰
۳	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۴	۳	۰	۲	۰	۰
۴	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۰	۳	۰	۲	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۴	۳	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۴	۰	۳	۰	۲	۰	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۴	۲	۳	۰	۰	۲	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۴	۲	۳	۰	۲	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۲	۰	۰	۳	۰	۰	۴	۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۲	۰	۴	۳	۰	۰	۰	۰

جدول۵: نوع مدارس پیشنهاد شده در هر سناریو به منظور تخصیص به گزینه‌های ممکن مسئله در سناریوهای منتخب (ترتیب شروع گراف از گزینه ۱ به سمت ۱۵)

شماره سناریو	شماره گزینه ممکن(۱ تا ۱۵)														
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۱	۲	۰	۱	۴	۰	۰	۰
۲	۰	۰	۰	۳	۰	۲	۰	۱	۰	۰	۱	۴	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۴	۰	۲	۰
۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۰	۱	۴	۰	۳	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۱	۰	۰	۱	۴	۰	۳	۰
۶	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۱	۲	۰	۰	۴	۱	۰	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۲	۰	۱	۴	۱	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۱	۴	۱	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۳	۰	۲	۰	۱	۰	۰	۰	۴	۱	۰	۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۳	۰	۰	۱	۴	۱	۰	۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

جدول۶: نوع مدارس پیشنهاد شده در هر سناریو به منظور تخصیص به گزینه‌های ممکن مسئله در سناریوهای منتخب (ترتیب شروع گراف از گزینه ۸ به سمت ۱۵)

شماره سناریو	شماره گزینه ممکن(۱ تا ۱۵)															
	۸	۴	۵	۹	۱۳	۱۱	۱	۲	۳	۶	۷	۱۰	۱۲	۱۴	۱۵
۱	۱	۳	۰	۲	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰
۲	۱	۳	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۴	۰	۰
۳	۱	۳	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۲	۰
۴	۱	۰	۰	۲	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۳	۰
۵	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۴	۳	۰
۶	۱	۳	۰	۲	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰
۷	۳	۰	۰	۲	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰
۸	۰	۳	۰	۲	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰
۹	۱	۳	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۴	۰	۰
۱۰	۳	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۴	۰	۰

۳-۳- ارزیابی سناریوهای مختلف

برای ارزیابی سناریوهای حاصل شده می‌بایست معیارهای پوشش کل، دسترسی و تناسب محاسبه شوند. در همین راستا ابتدا گزینه تخصیص داده شده به هر مقطع مشخص شده با مدارس موجود ترکیب شده و هر یک از پارامترهای پوشش کل، دسترسی و تناسب برای هر مقطع به صورت جداگانه محاسبه گردید. در ادامه، با در نظر گرفتن مقدار وزن برای سه پارامتر دسترسی، پوشش و تناسب به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۴ و ۰/۲، مقدار میانگین برای هر یک از پارامترهای دسترسی، پوشش کل و تناسب جهت بررسی مجموع وزن‌دار طبق روابط (۷) الی (۹) محاسبه می‌شود.
سپس با استفاده از مجموع وزن‌دار پوشش کل مقاطع، دسترسی کل مقاطع و پتانسیل کل مقاطع به ترتیب با وزن‌های ۰/۴۵ و ۰/۴۵ و ۰/۱ اعمال می‌شود. سپس بهترین و بدترین سناریو از لحاظ پارامترهای میانگین تناسب، میانگین دسترسی و میانگین پوشش نمایش داده می‌شود. جدول (۷) شامل بهترین و بدترین سناریو از نظر مجموع سه معیار یاد شده می‌باشد. مطابق با جدول (۷)، بهترین سناریو امتیازهای بالاتری در شاخص‌های کلیدی بهره‌مند است که نشان‌دهنده عملکرد کلی بالاتر در برآورده کردن معیارهای تخصیص فضاهای آموزشی می‌باشد. در طرف مقابل، سناریو بدتر در چندین حوزه کمبودهایی دارد، به ویژه در دستیابی به پوشش کافی و حداکثرسازی مجموع وزندار، که نشان دهنده ناکارآمدی‌های احتمالی در استراتژی تخصیص می‌باشد.

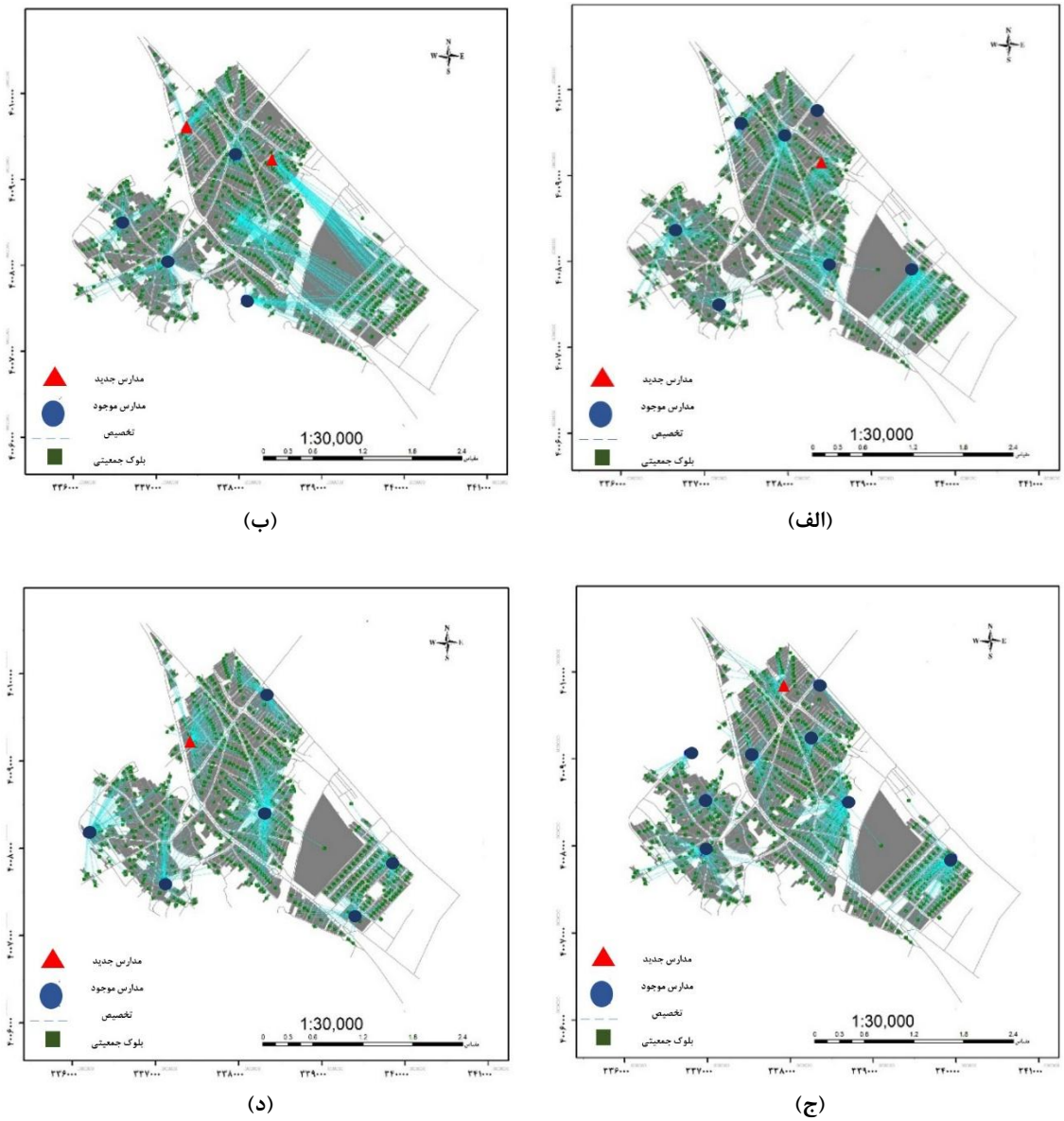
جدول۷: بهترین و بدترین سناریو از نظر میانگین سه پارامتر

سناریوی	تناسب	دسترسی	پوشش میانگین	مجموع وزندار
[۰, ۰, ۰, ۳, ۰, ۱, ۳, ۰, ۲, ۴, ۰, ۳, ۰, ۰, ۰, ۰]	۰/۶۹	۳۹۷۰۲۰	۱۹۷	۱/۴۶
[۱, ۳, ۱, ۲, ۰, ۲, ۳, ۰, ۰, ۰, ۰, ۰, ۰, ۰, ۴, ۰]	۰/۵۹	۴۳۰۶۶۶	۱۶۸	۰/۴۸

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

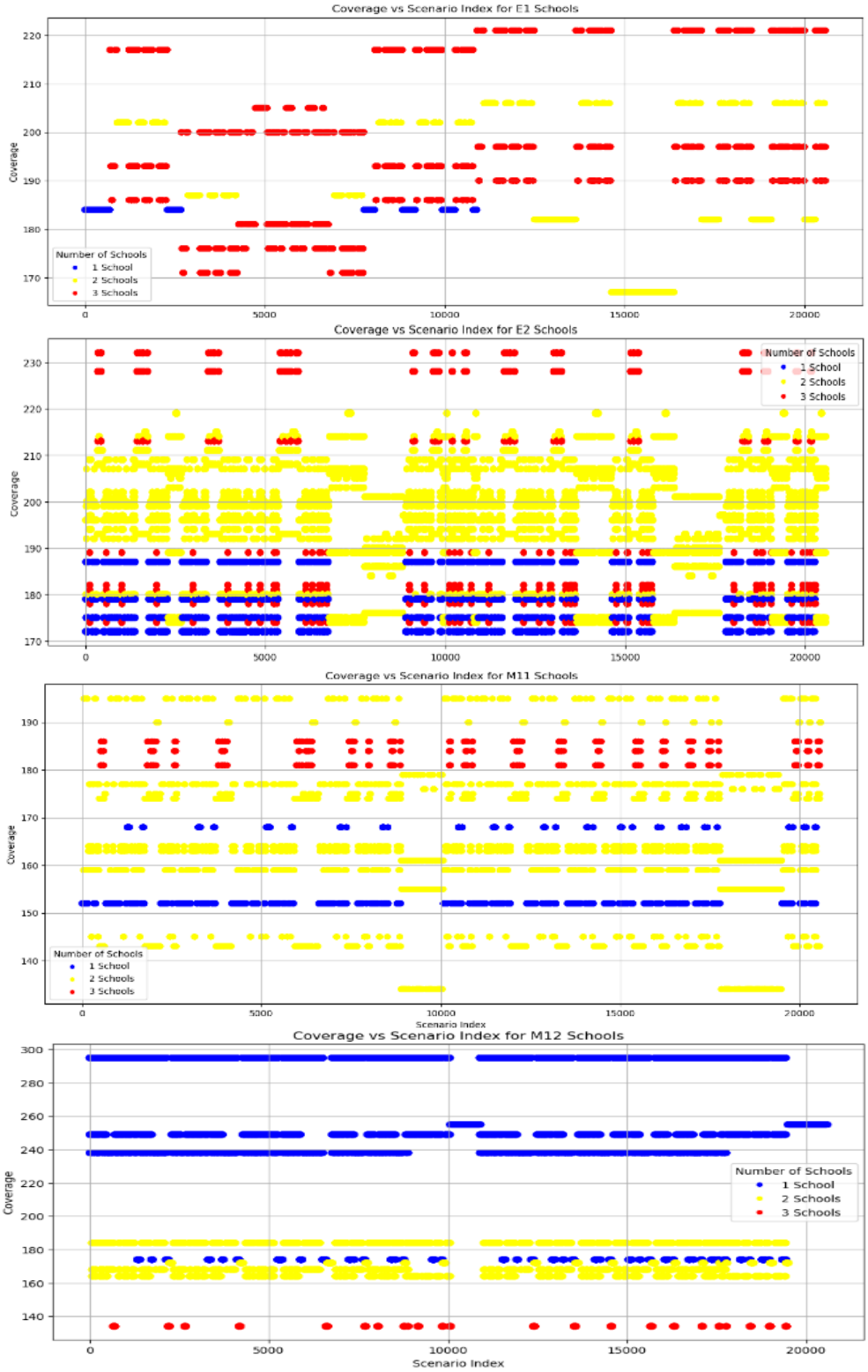
۳-۴- نتایج تخصیص فضاهای آموزشی

در این بخش جهت نمایش و مقایسه نتایج، فرایند تخصیص برای دو سناریو به ترتیب با بالاترین وزن و کمترین وزن مطابق جدول (۷) نمایش داده شده است. شکل (۱۱) نتایج بهترین سناریوی تخصیص را نشان می‌دهند. به منظور بررسی بیشتر، شکل‌های (۱۲) و (۱۳) به ترتیب میزان دسترسی و پوشش فضاهای آموزشی را برای هر سناریو نشان می‌دهند. در این شکل‌ها، نقاط قرمز نشان‌دهنده انتخاب سه مدرسه، نقاط زرد نمایانگر انتخاب دو مدرسه و نقاط آبی نمایانگر انتخاب یک مدرسه برای هر مقطع هستند.



شکل ۱۱: تخصیص فضاهای آموزشی برای مقطع (الف) ابتدایی دخترانه، (ب) متوسطه دخترانه، (ج) ابتدایی پسرانه و (د) متوسطه پسرانه؛ در بهترین سناریو

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]



(الف)

(ب)

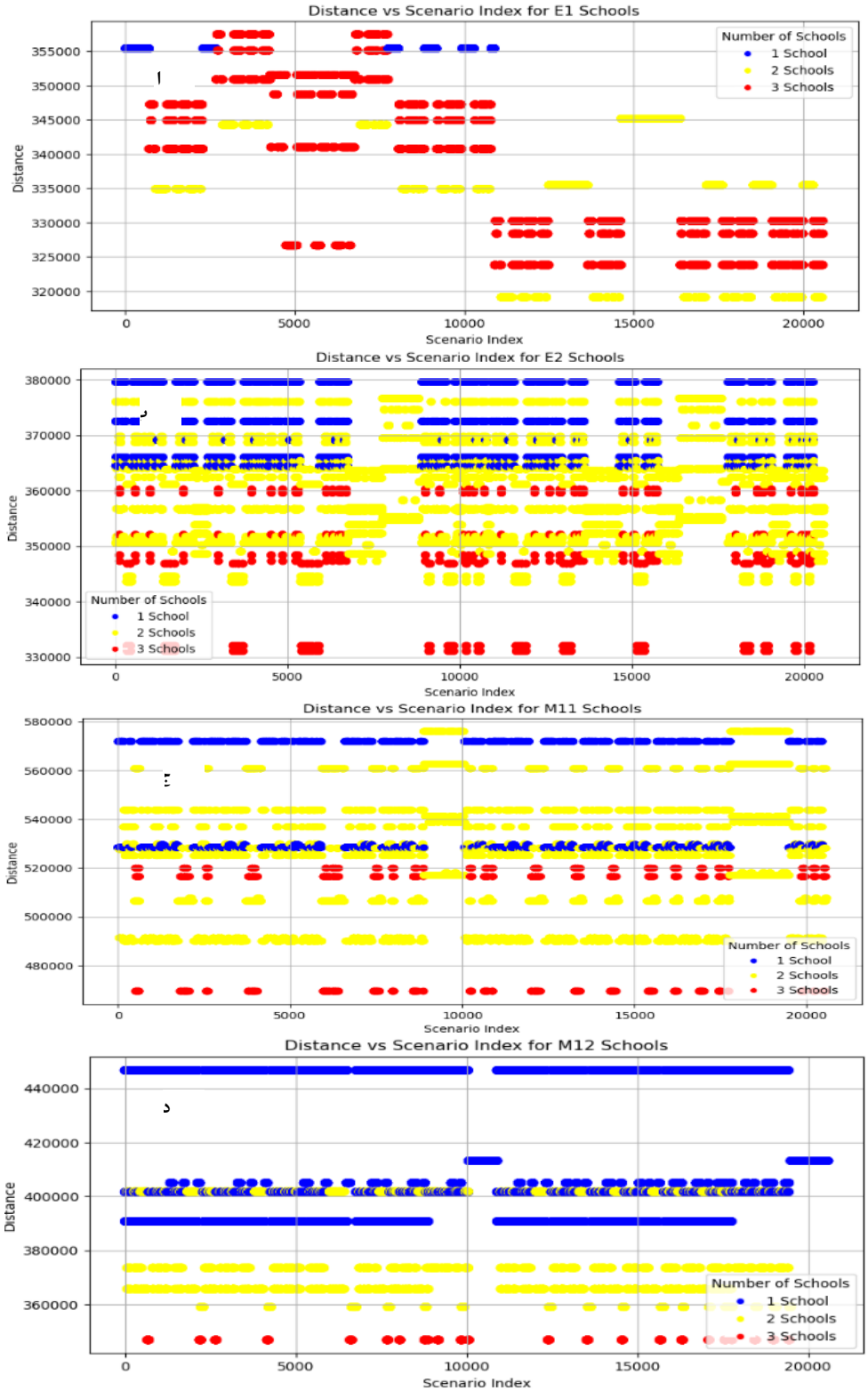
(ج)

(د)

شکل ۱۲: پوشش سناریوهای مختلف براساس تعداد مدارس برای مقطع (الف) ابتدایی دخترانه، (ب) ابتدایی پسرانه، (ج) متوسطه دخترانه و (د) متوسطه پسرانه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]



(الف)

(ب)

(ج)

(د)

شکل ۱۳: دسترسی سناریوهای مختلف براساس تعداد مدارس برای مقطع (الف) ابتدایی دخترانه، (ب) ابتدایی پسرانه، (ج) متوسطه دخترانه و (د) متوسطه پسرانه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

با توجه به بررسی شکل‌های (۱۲) و (۱۳) مشخص می‌شود که در برخی سناریوها، ایجاد یک مدرسه جدید (نقاط قرمز) یا ایجاد دو مدرسه (نقاط زرد) پوشش بهتری نسبت به ایجاد سه مدرسه (نقاط قرمز) ارائه می‌دهند، که به این معنا می‌باشد که افزایش تعداد مدارس لزوماً به معنای پوشش بیشتر نیست. به عبارت دیگر، در برخی مواقع ایجاد یک مدرسه به حداکثر پوشش ممکن برای آن مقطع منجر می‌شود، که از نظر کاهش هزینه‌های ساخت و ساز بسیار حائز اهمیت است. به عنوان مثال، همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، ایجاد دو مدرسه در مقطع متوسطه دخترانه (شکل ۱۲- ج) و ایجاد یک مدرسه در مقطع متوسطه پسرانه (شکل ۱۲- د)، منجر به ایجاد سناریوهایی با بیشترین میزان پوشش خواهد شد. این موضوع نشان می‌دهد که تمرکز صرف بر افزایش تعداد مدارس همیشه مؤثر نیست و در برخی موارد، ساخت تعداد کمتری از مدارس با توزیع بهینه‌تر می‌تواند به پوشش بهتری بیانجامد.

بعلاوه، در برخی مواقع، برخلاف پوشش که با یک مدرسه به حداکثر رسیده است، با افزایش تعداد مدارس، فاصله دسترسی کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده این است که مدارس موجود به‌طور مناسب پوشش را ارائه می‌دهند و تنها با افزایش تعداد مدارس، فاصله دسترسی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، همانطور که در شکل (۱۳) مشخص است، با در نظر گرفتن بیشینه پوشش در تمام سناریوها با ایجاد دو مدرسه در مقطع متوسطه دخترانه (شکل ۱۲- ج) و یا یک مدرسه در مقطع متوسطه پسرانه (شکل ۱۲- د)، در همان سناریوها، افزایش تعداد مدارس به سه مدرسه (شکل(۱۳- ج) و (۱۳- د)) منجر به کاهش فاصله دسترسی مدارس می‌شود. با این حال، کاهش فاصله دسترسی به معنای بهبود یکسان دسترسی برای تمامی دانش‌آموزان نیست. بنابراین، بهینه‌سازی پوشش و کاهش فاصله دسترسی باید به‌طور همزمان مورد توجه قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری در خصوص تعیین مکان مناسب جهت استقرار فضاهای آموزشی شامل دو گام اصلی مکان‌یابی و تخصیص می‌باشد. علاوه بر این، فرایند مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی غالبا همراه با سناریوهای بسیار زیادی در نظر گرفته شده که بررسی کردن تمام آن‌ها بسیار پیچیده می‌باشد. در این راستا و به منظور حل مشکل افزایش تعداد سناریوها در فرایند مکان‌یابی و تخصیص مدارس، در این تحقیق فرایند مکان‌یابی و تخصیص فضاهای آموزشی در چهار مرحله، با در نظر گرفتن پارامترهای مقطع تحصیلی و جنسیت و با در نظر گرفتن تمامی سناریوهای ممکن انجام شد. به منظور نیل به این مهم، ابتدا در مرحله اول به بررسی تناسب یکپارچه فضاهای آموزشی پرداخته شد. سپس، در مرحله دوم با استفاده از مدل جدید کاهش سناریو بر مبنای الگوریتم جستجوی عمق اول، به تحلیل و کاهش تعداد سناریوهای ممکن پرداخته شد. در مرحله سوم رتبه بندی سناریوهای مختلف انجام شده و در نهایت در مرحله چهارم تخصیص فضاهای آموزشی تحت سناریوهای منتخب صورت گرفت.

براساس نتایج حاصل شده، مشاهده شد که در بعضی از مناطق، تنها ایجاد یک مدرسه توانسته به حداکثر پوشش مورد نیاز دست یابد. این امر از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت است، زیرا با ساخت تنها یک مدرسه می‌توان نیاز آن منطقه را به طور کامل پوشش داد و هزینه‌های مرتبط با ساخت و نگهداری مدارس اضافی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، در برخی موارد، با اینکه پوشش منطقه‌ای با ساخت یک مدرسه به حداکثر رسیده است، افزایش تعداد مدارس تأثیر مستقیمی بر کاهش فاصله دسترسی دارد. این کاهش فاصله دسترسی به معنای نزدیکی بیشتر مدارس به محل سکونت دانش‌آموزان است، هرچند که بهبود پوشش به‌طور یکسان برای همه دانش‌آموزان فراهم نمی‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که برای دستیابی به دسترسی عادلانه‌تر و کاهش فاصله دسترسی، نیاز است به‌طور

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

همزمان به بهینه‌سازی پوشش و کاهش فاصله توجه شود. به‌طور کلی، نتایج حاصل از مدل کاهش سناریو بیانگر اهمیت ترکیب پوشش و دسترسی در بهینه‌سازی استقرار مدارس است. با بررسی دقیق سناریوهای مختلف و ارزیابی تأثیر آنها بر شاخص‌های دسترسی، پوشش، و تناسب فضاهای آموزشی، این مدل به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد تا راهکارهای بهینه‌تری برای توسعه فضاهای آموزشی و تخصیص منابع محدود اتخاذ کنند. این رویکرد می‌تواند منجر به بهبود کلی دسترسی به آموزش در مناطق مختلف و کاهش فشار بر فضاهای آموزشی موجود شود.

با استفاده از الگوریتم جستجوی عمق اول، سناریوهای تعریف شده فاصله دسترسی دانش‌آموزان به فضاهای آموزشی در تمامی مقاطع تحصیلی به میزان ۹٪ کاهش یافته است. همچنین، پوشش فضاهای آموزشی از ۲۸٪ به ۴۲٪ افزایش یافته و تناسب کلی این فضاها از ۰٫۶۰ به ۰٫۶۹ بهبود یافته است. این نتایج نشان‌دهنده کارآمدی مدل پیشنهادی در بهبود استقرار و تخصیص فضاهای آموزشی است. ذکر این نکته قابل توجه است که با انجام فرایند مکانیابی و تخصیص مطابق با مدل ارائه شده و مقایسه وضعیت پوشش مدارس با وضعیت موجود منطقه مشخص می‌شود که تمام سناریوهای پیشنهاد شده منجر به افزایش پوشش مدارس نسبت به وضعیت موجود منطقه مورد مطالعه شده‌اند.

لازم به ذکر است در این تحقیق با توجه به بررسی روند افزایش جمعیت در منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ (به ترتیب برابر با ۴۶۰۵۵، ۵۶۱۲۶ و ۶۸۱۲۱ نفر)، فرض بر افزایش جمعیت لازم التعلیم و نیاز به تخصیص جمعیت دانش آموزی جدید به گزینه‌های ممکن می‌باشد. به منظور نیل به این مهم و با توجه به آنکه تمرکز تحقیق حاضر بر مدلسازی تقاضا نبوده است، ظرفیت مدارس ثابت در نظر گرفته شده و تعداد مدارس مورد نیاز متغیر بود و به حل مساله کاهش تعداد سناریوهای تولید شده پرداخته شد. نتایج نشان داد که انتخاب تعداد ثابت مدارس از پیش تعیین شده نمی‌تواند همیشه به بهینه‌ترین حالت منجر شود. با این وجود پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی به منظور مدلسازی دقیق‌تر تقاضا، ابتدا تقاضای موجود با فضاهای آموزشی موجود تطبیق داده شده و نواحی با تقاضای مازاد مشخص شده و سپس برای رفع نیاز مازاد و رفع کمبودها، تناسب گزینه‌های ممکن تعیین شوند. همچنین، برای ساده‌سازی مسئله و بهبود درک پوشش و دسترسی، می‌توان از روش‌های ساده‌سازی دیگر مانند K-میانگین استفاده کرد. این روش‌ها می‌توانند به گروه‌بندی گزینه‌های ممکن کمک کنند و تأثیر بیشتری بر پوشش و دسترسی داشته باشند. علاوه بر این، در این تحقیق دسترسی به راه‌های اصلی و فرعی در محاسبه شاخص دسترسی در نظر گرفته شده و محاسبات دسترسی براساس فاصله شبکه‌ای انجام شده است. با این وجود، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی محاسبه دسترسی به خطوط اتوبوسرانی، مترو و اتوبوس تندرو در محاسبه شاخص دسترسی مد نظر قرار گیرند.

در نهایت نتایج مدل ارائه شده نشان داد که چگونه ترکیب تکنیک‌های جستجو و کاهش سناریو می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و نیازهای مختلف، بهترین تصمیم‌ها را در زمینه مکان‌یابی مدارس اتخاذ کنند.

مراجع

[1] *R. A. Turvey, "Urban planning and sustainable cities," Int. J. Sustain. Soc., vol. 11, no. 3, pp. 139–161, 2019, doi: 10.1504/IJSSOC.2019.103700.*

[2] *M. Ghanei, "Development of a factor-based model for urban land use allocation", Master of science thesis, Faculty of geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology, 2011 (Persian).*

[3] *R. Lotfi, P. Pilehforooshha, and M. Karimi, "A multi-objective optimization model for*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

school location-allocation coupling demographic changes," J. Spat. Sci., vol. 68, no. 2, pp. 225–244, Apr. 2023.

[4] M. D. Arifin, "Location allocation problem using algorithm and simulated annealing: a case study based on school in Enschede," Master's Thesis, University of Twente, 2011.

[5] K. N. Jayaweera, "Application of geographic information systems for government school sites selection," PhD Thesis, University of Sri Jayewardenepura, Nugegoda, 2014.

[6] I. Jamal, "Multi-criteria GIS analysis for school site selection in Gorno-Badakhshan Autonomous Oblast." Tajikistan, 2016.

[7] M. R. Alifi, H. Hayati, and S. H. Supangkat, "Optimization of school network using location-allocation analysis: Case study: Bandung, Indonesia," in 2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), Jul. 2017, pp. 1–6.

[8] A. M. Samad, N. A. Hifni, R. Ghazali, K. A. Hashim, N. M. Disa, and S. Mahmud, "A study on school location suitability using AHP in GIS approach," in 2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, IEEE, 2012, pp. 393–399.

[9] A. Movahed, S. Amanpour, M. R. PourMohammadi, M. Asakere, "Study and analysis of optimal location of elementary schools, case study: Shadegan city", Applied research in geographical sciences, vol 19. No. 22, pp 129-150. 2012 (Persian).

[10] K. F. Doerner, W. J. Gutjahr, and P. C. Nolz, "Multi-criteria location planning for public facilities in tsunami-prone coastal areas," Spectr., vol. 31, no. 3, pp. 651–678, Jun. 2009.

[11] V. Marianov and D. Serra, "Hierarchical location–allocation models for congested systems," Eur. J. Oper. Res., vol. 135, no. 1, pp. 195–208, Nov. 2001.

[12] V. Jayaraman, R. Gupta, and H. Pirkul, "Selecting hierarchical facilities in a service-operations environment," Eur. J. Oper. Res., vol. 147, no. 3, pp. 613–628, Jun. 2003.

[13] S. Beheshtifar and A. Alimohammadi, "Multi-objective evolutionary algorithm for modeling of site suitability for health-care facilities," Health Sci. J., vol. 7, no. 2, p. 209, 2013.

[14] C. Liao, B. Scheuer, T. Dai, and Y. Tian, "Optimizing the spatial assignment of schools to reduce both inequality of educational opportunity and potential opposition rate through introducing random mechanism into proximity-based system," Socioecon. Plann. Sci., vol. 72, p. 100893, Dec. 2020.

[15] Y. Chen, Z. Lai, and C. Huang, "Optimizing Spatial Location and Service Capacity of New Schools Toward Maximum Equity in the Distribution of Educational Resources," J. Urban Plan. Dev., vol. 149, no. 3, p. 04023027, Sep. 2023.

[16] L. Otten and R. Dechter, "Anytime AND/OR depth-first search for combinatorial optimization," AI Commun., vol. 25, no. 3, pp. 211–227, Jan. 2012.

[17] A. Laarman, R. Langerak, J. Van De Pol, M. Weber, and A. Wijs, "Multi-core Nested Depth-First Search," in Automated Technology for Verification and Analysis, vol. 6996, T. Bultan and P.-A. Hsiung, Eds., in Lecture Notes in Computer Science, vol. 6996., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 321–335.

[18] D. C. Kozen, "Depth-First and Breadth-First Search," in The Design and Analysis of Algorithms, D. C. Kozen, Ed., in Texts and Monographs in Computer Science, New York, NY: Springer, 1992, pp. 19–24.

[19] A. Bundy and L. Wallen, "Depth-First Search," in Catalogue of Artificial Intelligence Tools, A. Bundy and L. Wallen, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1984, pp. 29–29.

[20] C. Zhang, J. Zhou, C. Li, W. Fu, and T. Peng, "A compound structure of ELM

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

based on feature selection and parameter optimization using hybrid backtracking search algorithm for wind speed forecasting," Energy Convers. Manag., vol. 143, pp. 360–376, Jul. 2017.

[21] F. Yuan, A. Karatzoglou, I. Arapakis, J. M. Jose, and X. He, "A Simple Convolutional Generative Network for Next Item Recommendation," in Proceedings of the Twelfth ACM International Conference on Web Search and Data Mining, Melbourne VIC Australia: ACM, Jan. 2019, pp. 582–590.

[22] S. Abolhasani, M. Taleai, M. Karimi, and A. Rezaee Node, "Simulating urban growth under planning policies through parcel-based cellular automata (ParCA) model," Int. J. Geogr. Inf. Sci., vol. 30, no. 11, pp. 2276–2301, Nov. 2016.

[23] M. karimi, M. Taleai, M.J. Valadan Zoj, P. Pilehforooshha. "Criteria for locating and reallocating educational spaces", Organization for Renovation, Development and Equipping of Schools, 2021 (Persian).

[24] P. Pilehforooshha, M. Karimi, M. Taleai. "Modeling land use allocation considering increasing and decreasing in land use demand", Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, vol. 5, no.1, 2014 (Persian).

[25] X. Zhang, K. Li, and P. Liao, "A depth-first search algorithm of mining maximal frequent itemsets," in 2015 Seventh International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), Wuyi: IEEE, Mar. 2015, pp. 170–173.

[26] L. A. Taylor, Pruning duplicate nodes in depth-first search. University of California, Los Angeles, 1997.

[27] R. Tarjan, "Depth-First Search and Linear Graph Algorithms," SIAM J. Comput., vol. 1, no. 2, pp. 146–160, Jun. 1972.

[28] A. Auer and H. Kaindl, "A case study of revisiting best-first vs. depth-first search," in ECAI, 2004, p. 141. Accessed: Aug. 13, 2024.

[29] "Depth First Search.," Arch. Form. Proofs, vol. 2004, Jan. 2004, Accessed: Jun. 04, 2024.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.13, No.2, Summer 2025

Research Paper

Defining, Evaluating and Reducing Scenarios for Locating and Allocating Different Types of Educational Spaces using the Depth-First Search Algorithm

Zahed Khateri [1], Mohammad Karimi [2*], Parastoo Pileforooshha [3]

1- Master of Geospatial Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics, Department of GIS, K.N.Toosi University of Technology,Tehran, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Geodesy and Geomatics, Department of GIS, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Faculty of Geodesy and Geomatics, Department of GIS, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Population growth and limited availability of usable land have underscored the importance of the optimal placement of service centers, particularly the educational facilities, within the urban environments. The proper siting of educational spaces plays a crucial role in enhancing the educational quality and ensuring the spatial equity. Decision-making regarding the location of these facilities involves two fundamental steps: site selection and optimal allocation, aiming to ensure the desirability of the selected locations, appropriate spatial distribution, and equitable access for urban residents. One of the main challenges in this process is the large number of potential scenarios for siting and allocation of the educational spaces, making comprehensive analysis time-consuming and complex. To address this issue, this study presents a four-stage process for defining, evaluating, and reducing the number of possible scenarios. In the first stage, the integrated suitability of the educational spaces is assessed. In the second stage, a novel scenario reduction model based on the Depth-First Search (DFS) algorithm is developed and implemented. The third stage involves ranking the selected scenarios, and finally, in the fourth stage, the allocation of the educational spaces is carried out using the reduced set of scenarios. The results indicate that the average distance students need to travel to access to the educational facilities has decreased by 9% for all educational levels. Additionally, the coverage of the educational facilities has increased from 28% to 42%, and the overall suitability index has improved from 0.60 to 0.69. These findings demonstrate the effectiveness of the proposed model in improving the siting and allocation of the educational spaces, making it a practical and efficient approach for urban planning.

Key words: *Location and allocation, Educational spaces, Scenario reduction, depth-first search algorithm.*

Correspondence Address: *ValiAsr Street, Mirdamad cross, Geomatics Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*
Tel : +98 (21) 88770218.
Email : *mkarimi@kntu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.66224/jgit.13.2.31]