حل مسئله پوشش تدریجی چند معیاره با استفاده از شبیه‌سازی تبرید و شبکه عصبی

مهدی بشیری[1*]، یونس گرمه‌ای[2]

۱- دانشیارگروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

دریافت: ۹۱/۷/٤ پذیرش: ۹۲/٥/۱٥

چکیده

در مسائل پوشش تدریجی افزایش فاصله از تسهیل ارائه‌دهنده سرویس در ناحیه پوشش، موجب کم شدن سطح پوشش‌دهی می‌شودکه اغلب محققان در مسائل مکانیابی تنها به عامل فاصله توجه می‌کنند، حال آنکه در دنیای واقعی معیارهای زیادی مثل جمعیت، دسترسی سریع و... وجود دارند که باید علاوه بر عامل فاصله در ارزیابی مکانیابی و تخصیص مورد توجه قرار گیرند، به‌عنوان مثال در مکانیابی تسهیلات اورژانسی نباید تنها به عامل فاصله توجه کرد. از طرفی با ازدیاد نقاط تقاضا و معیارها، ضمن افزایش زمان محاسبه‌ها، نرخ ناسازگاری در ارزیابی و امتیازدهی بین نقاط نیز افزایش پیدا می‌کند. در این مقاله رویکرد ترکیبی شبکه عصبی و شبیه‌سازی تبرید برای حلمسئلهپوششتدریجیچند معیاره پیشنهاد شده است. زمانیکه تعداد نقاط کم هستند، امتیاز نقاط (اهمیت نقاط در اولویت تخصیص) در مسئله با استفاده از تحلیلسلسله مراتبی و با افزایش تعداد نقاط، پس از یافتن الگوی ذهنی تصمیم‌گیرندگان این امتیازها با روش شبکه عصبی محاسبه می‌شود، البته کارایی الگوریتم شبکه عصبی در یافتن الگوی ذهنی با استفاده از آزمون رتبه علامتدار در این مقاله تأیید شده است. در ادامه مسئله با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید حل می‌شود که نتایج بررسی نشان از کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی (کیفیت جواب وزمان حل) در مقایسه با روش دقیق است.

کلیدواژها: پوشش تدریجی، شبکه عصبی، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید.

---

* نویسندهٔ مسؤول مقاله: E-mail: Bashiri@shahed.ac.ir

۱– مقدمه

مفهوم پوشش به‌عنوان زیر مجموعه‌ای از مسائل مکانیابی کاربرد زیادی در زندگی روزمره ما دارد و مسائل زیادی همچون پوشش یک منطقه یا مناطق با ایستگاه‌هایآتش نشانی، بیمارستان‌ها، مراکز تعلیم و تربیت، مراکز رفاهی و ... مورد توجه بوده است. محققان همواره به دنبال حداکثر پوشش نقاط تقاضا با استفاده از حداقل تسهیلات (حداقل هزینه) هستند. مسئله پوشش خود به دو زیر مجموعهپوشش کلی و پوشش جزئی تقسیم می‌شود. موضوعات عام المنفعهبیشتر در پوشش کلی مورد توجه قرار می‌گیرند و به‌دنبال پوشش همه نقاط تقاضا هستندکه هدف پیدا کردن حداقل تعداد تسهیلات برای پوشش همه نقاط تقاضا است[۱؛۲].

در سال ۲۰۰۳ پوشش تدریجی توسط آقای برمن و همکاران مطرح شد[۳ص۴۷٤–۸۸۲]. در مسئله مکانیابی پوشش تدریجی حداقل دو شعاع پوششی مد نظر گرفته می‌شود به اینصورت که اگر مسافتمشتری از تسهیل کمتر از شعاعی مانند شعاع کوچک‌تر باشد ($d\leq r$)، پوشش کامل و اگر فاصله مشتری تا تسهیل بین شعاع کوچک‌تر و بزرگ‌تر باشد ($r<d\leq u$)، پوشش با تابع خاصی برحسب میزان مسافت مشتری تا تسهیل در نظر گرفته می‌شود و اگر مسافت مشتری تا تسهیل بیش از شعاع بزرگ‌تر باشد ($d>u$)، هیچ‌گونه پوششی صورت نخواهد گرفت، به عنوان مثال یک فروشگاه مواد غذایی را در نظر بگیرید، کسانیکه در فاصله یک کیلومتری (شعاع کوچک‌تر) از این فروشگاه هستند نیازهای مواد غذایی خود را به‌طور کامل تأمین می‌کنند، اما اگر فاصله از سه کیلومتر (شعاع بزرگ‌تر)بیشتر شود، مشتریان مواد غذایی خود را از فروشگاه دیگری تأمین می‌کنند و همینطور مشتریانی که در فاصله بین یک تا سه کیلومتر هستند با دور شدن از این فروشگاه تمایل خرید آن‌ها از آنجا نیز کمتر می‌شود. برای حل مسئله مکانیابی پوشش تدریجی به دنبال نقاطی هستیم که بتوانیم حداکثر پوشش را با قرار دادن تسهیلات در آن نقاط به‌دست آوریم[٤ص۳٦۸۹–۳۷۰۷]. در تحقیقات گذشته انجام شده در خصوص مسئله پوشش تدریجی، مدل‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است که برخی از آن‌ها عبارتند از پوشش تدریجی با استفاده از تابع خطی کاهنده[۵ص٥٦۳–۵۸۱] پوشش تدریجی با استاده از تابع پوششی تقسیم‌بندی شده[٦] پوشش تدریجی با استفاده از شعاع ماکسیمم و مینیمم یکسان برای تمامی نقاط، مدل میانه ترتیبی پوشش تدریجی[۷ص۸٤۱–۸۵۵]ومدل پوشش تدریجی با تقاضاهای تصادفی توزیع نامعلوم[۸ص۲۲۳–۲۳۸].

از سوی دیگر روش‌های حل بررسی شده‌در این حوزه، الگوریتم دقیق بوده‌اند و وزن نقاط یکسان است، حال آنکه در دنیای واقعی معیارهای مختلفی مانند جمعیت، حساسیت، دسترسی سریع، پرخطر بودن محدوده بر نقاط کاندید تأثیرگذارند[۹ص۱٦۷٥-۱٦۸۷؛۱۰]. با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی- که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است- می‌توان برای امتیازدهی و اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده کرد. علت سلسله مراتبی خواندن اینرو شآن است که نخست باید از اهداف واستراتژی‌های سازمان در رأس هر مشروع و با گسترش آن‌ها معیارها را شناسایی کرد تا به پایین هرم که معیارها سترسید[۱۱ص٤۰٤-٤۱٦]. در این مقاله با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن نقاط تقاضا با توجه به معیارها در تعداد نقاط پایین محاسبه شده است.

روش‌های زیادی برای حل مسائل مکانیابی پوشش وجود داردکه می‌توان به روش‌های دقیق مانند مثال شاخه و کران، روش‌های ابتکاری مانند الگوریتم ایگنزیو و روش‌های فرا ابتکاری مانند شبیه‌سازی و شبکه عصبی اشاره کرد. در مسئله پوشش تدریجی چندمعیاره با افزایش نقاط تقاضا، زمان حل و نرخ ناسازگاری به‌شدت افزایش پیدا می‌کند و با توجه به این نکته که در دنیای واقعی تعداد نقاط تقاضا زیاد و معیارهای تصمیم‌گیری متفاوت ومتنوع است، استفاده از روش‌های فرا ابتکاری ضرورت بیشتری خواهد داشت[۱۲ص۳۳-٤٦]

در این مقاله با افزایش نقاط تقاضا امتیازات با استفاده از شبکه عصبی محاسبه شده است و با استفاده از آزمون رتبه علامتدار نشان داده شده که تفاوت زیادی در جواب‌های به‌دست آمده از هر دو روش شبکه عصبی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی وجود ندارد و در ضمن مدت زمان محاسبه‌ها و نرخ ناسازگاری در شبکه عصبی بسیار کمتر از فرایند تحلیل سلسله مراتبی است.

در بخش بعد مدل مسئله مکان یابی پوشش تدریجی و تابع کاهنده بیان شده است. در بخش ۳ روش پیشنهادی برای حل مسئله پوشش تدریجی چندمعیاره توضیح داده شده، در بخش ٤ کارایی شبکه عصبی در مقایسه با فرایند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از آزمون رتبه علامتدار تأیید شده است که در آن با استفاده از مثال‌های عددی شبیه‌سازی شده، کارایی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در مقایسه با روش دقیق در بخش ٥ تشریح شده است. در بخش ٦ تحلیل حساسیت پارامترهای مسئله مکانیابی پوشش تدریجی در دو روش حل دقیق و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید انجام شده است.

۲- مدل مسئله مکانیابی پوشش تدریجی

در مدل پوشش تدریجی هدف تعیین محل نقاطی است که بیش‌ترین سطح پوشش را نسبت به سایر نقاط دارا هستند (سطح پوشش با پارامتر c_{ij} نمایش داده می‌شود).

پارامتر c_{ij} به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_{ij}=\begin{cases} w_i & if\ d_{ij}< l_i \\ w_i f_i(d_{ij}) & if\ l_i< d_{ij} \le u_i \\ 0 & if\ d_{ij}>u_i \end{cases} \qquad (۱)$$

رابطه ۱ بیان‌کننده این مهم است که اگر فاصله مشتری i از تسهیل j کمتر از شعاع پوششی تسهیل j باشد، سطح پوشش برابر با وزن نقطه‌ای است که نقطه i در آن قرار گرفته است. اگر مسافت مشتری بین شعاع کوچک‌تر و بزرگ‌تر باشد، سطح پوشش برابر است با وزن نقطه i در تابعی که به مسافت مشتری تا تسهیل بستگی دارد و اگر فاصله بیش از شعاع بزرگ‌تر باشد، سطح پوشش برابر صفر خواهد بود. مدل اصلی مسئله پوشش تدریجی به صورت زیر است[۳ص ٤٧٤-٤٨٢]:

$$z = max \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij} \qquad (۲)$$

$$s.t:$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = p \quad \forall\, i = 1, \dots, n \qquad (۳)$$

$$x_{ij} \le y_j \quad \forall\, i,j = 1, \dots, n \qquad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \ \forall\, i = 1, \dots, n \qquad (۵)$$

$$y_j, x_{ij} \in \{0,1\} \ \forall\ i,j = 1,\dots,n \qquad (۶)$$

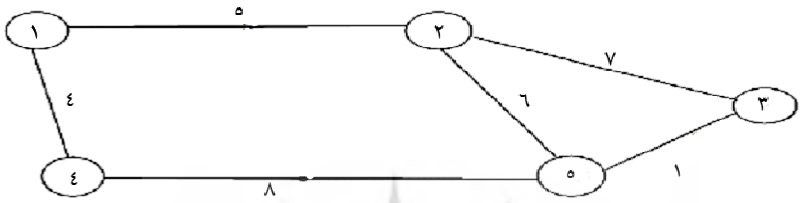
هدف این مدل بیشینه کردن سطح پوشش است. سطح پوشش برابر با میزان پوشش هر نقطه به‌وسیله تسهیل است و عددی بین صفر و یک است، اگر نقطه تقاضا در شعاع پوشش کوچک‌تر، یعنی فاصله کمتری نسبت به تسهیل باشد، سطح پوشش بیشتر و برابر با وزن نقطه تقاضا است. اگر وزن یک باشد، سطح پوشش برابر با یک خواهد بود. محدودیت (۳) بیان‌کننده تعداد تسهیلاتی است که باید جایابی شوند، تعداد تسهیلات از قبل مشخص است به اندازه P تسهیل در دسترس مسئله مدلسازی می‌شود و بهترین مکان برای بیش‌ترین سطح پوشش به نقاط تقاضا به تسهیل اختصاص داده می‌شود. محدودیت (٤) این اطمینان را حاصل می‌کند کهنقاط می‌توانند فقط با تسهیلی پوشیده شوندکه در مکان j تسهیل وجود دارد، به بیان دیگر پوشش زمانی صورت خواهد گرفت که تسهیلی برای اختصاص به نقطه تقاضا در شعاع پوشش وجود داشته باشد. محدودیت (٥) بیان می‌کند که هر مکان فقط به وسیله یک تسهیل خاص پوشانده می‌شود؛ به عبارتی هر نقطه تقاضا فقط به یک تسهیل اختصاص داده می‌شود و از تسهیل دیگر نمی‌تواند خدمت بگیرد و به ازای هر نقطه تقاضا باید فقط یک تسهیل برای خدمت به نقطه تقاضا در نظر گرفته شود.محدودیت (٦) نشان‌دهنده صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم مسئله است. متغیر y_j بیانگر قرارگیری یا عدم قرارگیری تسهیل در مکان کاندیدjاست و اگر مقدار ۱ بگیرد، نشان‌دهنده این است که تسهیل در مکانj قرار می‌گیرد و اگر صفر باشد هیچ تسهیلی در مکانj قرار نمی‌گیرد و متغیر x_{ij} زمانی ۱ است که نقطه تقاضا iام به تسهیل واقع در مکان j تخصیص داده شود. مدل بالا همان مدل مسئله پوشش است با این تفاوت که به جای کمینه کردن مسافت در تابع هدف از پارامتر سطح پوشش با هدف بیشینه کردن آن استفاده شده است.

یکی از روش‌های متداول در مسئله پوشش تدریجی برای به‌دست آوردن سطح پوشش، استفاده از تابع کاهنده خطی است[۳].

$$\boldsymbol{f_i(d_{ij}) = ۱ - \frac{۱}{\alpha} d_{ij}} \qquad (۷)$$

برای به‌دست آوردن سطح پوشش در زمانیکه فاصله نقطه تقاضا تا تسهیل بین شعاع بزرگ‌تر و کوچک‌تر قرار دارد، براساس رابطه (۱) از$\boldsymbol{w_i f_i(d_{ij})}$استفاده می‌شود،$\boldsymbol{f_i(d_{ij})}$ همان تابع خطی کاهنده است که در رابطه (۷) بیان گردید و در این رابطه$\alpha=max\ d(i,j)$ است.

مثال زیر برای درک بیشتر مدل مسئله براساس اطلاعات مندرج در شبکه نقاط شکل ۱مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرض کنید شعاع پوششی کوچک‌تربرابر ۵، شعاع پوششی بزرگ‌تر برابر ۷ و وزن نقاط تقاضا یکسان باشد. در جدول ۱ سطح پوشش‌دهی بین نقاط با استفاده از رابطه (۱) و تابع خطی کاهنده رابطه (۷)محاسبه شده است.۱



شکل۱ مسافت بین نقاط تقاضا در مثال مورد بررسی

اگر فاصله نقطه تقاضا از تسهیل بین شعاع پوشش پایین و بالا قرار گیرد، سطح پوشش از تابع خطی کاهنده رابطه (۷) به‌دست می‌آید.

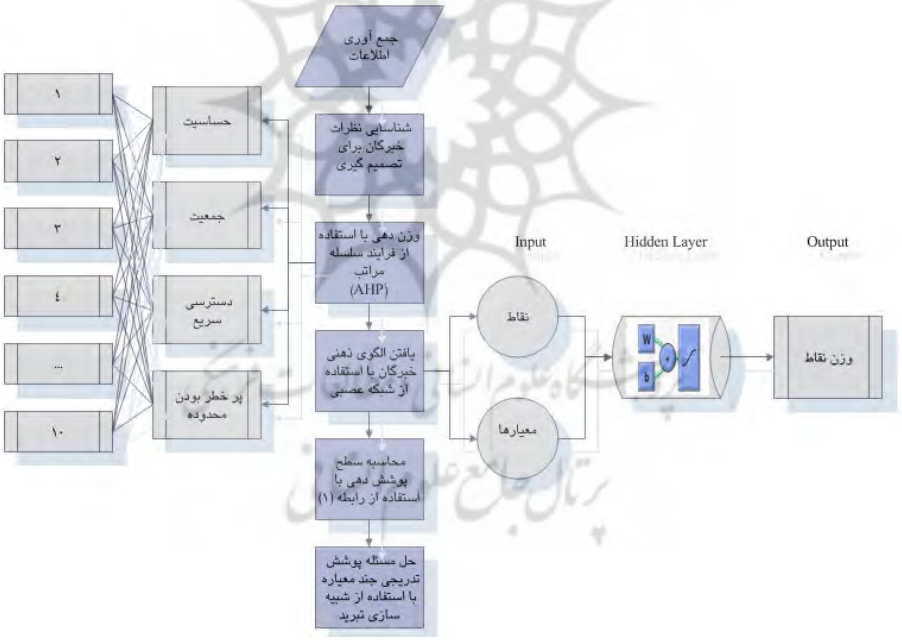
جدول ۱ محاسبه سطح پوشش‌دهی با استفاده از تابع خطی کاهنده

C(i,j)	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۱	۱	۰	۱	۰
۲	۱	۱	۰/۸۷	۰	۰/٦۷
۳	۱	۰/۵۸	۱	۰	۱
٤	۱	۰	۰	۱	۰
۵	۰	۰/۵٤	۱	۰	۱

اگر تعداد تسهیل که احداث خواهیم کرد، یک باشد ($p=$ ۱)، نقطه مورد نظر برای احداث برابر ۱ ($y_1=$ ۱) و تابع هدف $z=$ ٤ خواهد بود و اگر $p=$ ۲ باشد $y_1=y_3=$۱خواهد بود که در این صورت همه نقاط پوشش داده می‌شوند ($z=$۵).

۳- روش پیشنهادی برای حل مسئله پوشش تدریجی چند معیاره

در این رویکرد برای هر نقطه، اطلاعات مهم در برگیرنده معیارهای مشترک نقاط جمع‌آوری شد، سپس با تأیید نظر خبرگان این معیارها به‌صورت زوجی از لحاظ اهمیت ارزیابیشدند. درادامه بااستفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی ماتریس مقایسه‌های زوجی تشکیل و سپس ماتریس نرمال با نرم یک محاسبه شد. در انتها نیز با محاسبه میانگین هر سطر وزن آن نقطه نیز محاسبه گردید. در مرحله بعد با تربیت شبکه عصبی به‌وسیله اطلاعات به‌دست آمده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، الگوی ذهنی خبرگان شناساییو به‌عنوان وزن‌های نهایی برای محاسبه سطح پوشش‌دهی با استفاده از تابع خطی کاهنده معرفی مشدند. از این رو حالا با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، مسئله پوشش تدریجی چند معیاره با تعداد نقاط زیاد حل و بررسیمی‌شوند. روش پیشنهادی حل مسئله پوشش تدریجی چند معیاره در شکل ۲نمایش داده شده است.



شکل ۲ روش پیشنهادی حل مسئله پوشش تدریجی چند معیاره

۴. تحلیل کارایی استفاده از شبکه عصبی در حل مسائل چند معیاره

برای اثبات کارایی روش شبکه عصبی، مثالی براساس ۱۰ نقطه کاندید با معیارهای جمعیت، حساسیت، دسترسی سریع و پرخطر بودن محدوده برای احداث تسهیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در جدول ۲،ده نقطه با معیارهایذکر شده با استفاده از فرایند سلسله مراتبی وزن‌دهی می‌شوند. از این اطلاعات برای آموزش شبکه عصبی استفاده می‌گردد. در نتیجه با آموزش شبکه عصبی الگوی ذهنی تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌شود.

جدول ۲ معیارهای نقاط کاندید

دسترسی سریع	پرخطر بودن محدوده	حساسیت	جمعیت	
٤	١	٣	١٠	١
٥	٣	٥	٧	٢
٦	٢	٢	٥	٣
٢	٣	١	٢٠	٤
٧	٢	٤	١٥	٥
٢	١	٢	٤	٦
١	٢	٢	٥	٧
٦	٣	١	٧	٨
٤	١	٣	٩	٩
٥	٣	٤	١٢	١٠

با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌ها، گزینه‌های مرتبط با امتیاز هر یک از معیارها به صورت جدول ۳ محاسبه شده‌اند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۳ محاسبه وزن نقاط با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

نقاط تقاضا	وزن
۱	۰/۰۹۱
۲	۰/۱۲۷
۳	۰/۰۸۸
٤	۰/۱۲۷
٥	۰/۱٤۷
٦	۰/۰٥٥
۷	۰/۰٥٥
۸	۰/۰۹۲
۹	۰/۰۹۰
۱۰	۰/۱۲۹

نرخ ناسازگاری در روش فرایند سلسله مراتبی برای مثال فوق برابر با ۰/۰٦۷۲٦ است و با توجه به اینکه نرخ به‌دست آمده کمتر از ۰/۱ است، نتیجه گرفته می‌شود که در جدول مقایسه‌های زوجی برگرفته از نظر خبرگان ناسازگاری قابل قبولی مبنای محاسبات است، حال آنکه با ازدیاد نقاط و معیارها به‌دلیل وجود خطای انسانی نرخ ناسازگاری افزایش یافته و محاسبه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

حال با وارد کردن اطلاعات جدید به شبکه عصبی که شامل ۱۰ نقطه با معیارهای جمعیت، حساسیت، دسترسی سریع، پرخطر بودن محدوده و ۲۵ بار اجرای برنامه وزن‌های به‌دست آمده از شبکه عصبیبا آزمون رتبه علامتدار با وزن‌های به‌دست آمده از روش فرایند سلسله مراتبی مقایسه خواهند شد.

در جدول٤ نتایج به‌دست آمده از آزمون رتبه علامتدار نمایش داده شده است. فرض صفر برابری وزن‌های به‌دست آمده از شبکه عصبی و روش فرایند سلسله مراتبی در هر یک از نقاط، در برابر فرض مقابل نابرابری وزن‌ها است. در این آزمون α برابر با ۰/۰۱ است. نتایج به‌دست آمده با استفاده از آزمون فرض رتبه علامتدار بر این موضوع تأکید می‌کند که اختلاف معناداری در وزن‌های به‌دست آمده از هر دو روش نیست. از سوی دیگر مزیتشبکه عصبی بر روش فرایند سلسله مراتبی این است که می‌تواند با ازدیاد نقاط تقاضا و افزایش معیارها ضمن

کاهش زمان،نرخ ناسازگاری مناسبی ارائه دهد (با توجه به این موضوع مهم که خطای انسانی درشبکه عصبی وجود ندارد).در انتها این نکته حایز اهمیت است که شبکه عصبی الگوی مناسبی برای تعیین رویه ذهنی خبرگان و تعیین وزن نقاط ارائه می‌کند.

جدول۴ بررسی کارایی شبکه عصبی با استفاده از آزمون رتبه علامتدار

نقاط تقاضا	آزمون فرض	T^{+}	T_{α}	فرض صفر
۱	$H_0:\mu_0=$۰/۱۳۲ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۷۴	۶۸	✓
۲	$H_0:\mu=$۰/۱۲۹ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۸۵	۶۸	✓
۳	$H_0:\mu=$۰/۰۷۶ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۱۱۱	۶۸	✓
۴	$H_0:\mu=$۰/۰۸۹ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۹۲	۶۸	✓
۵	$H_0:\mu=$۰/۰۹۴ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۸۲	۶۸	✓
۶	$H_0:\mu_0=$۰/۱۱۴ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۷۷	۶۸	✓
۷	$H_0:\mu=$۰/۰۶۵ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۶۹	۶۸	✓
۸	$H_0:\mu=$۰/۰۹۷ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۱۰۷	۶۸	✓
۹	$H_0:\mu=$۰/۰۸۷ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۹۷	۶۸	✓
۱۰	$H_0:\mu=$۰/۱۱۸ $H_1: \mu\neq\mu_0$	۱۰۳	۶۸	✓

۵- مقایسه‌ها بین الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و روش دقیق

برای مقایسه این دو روش از رایانه با مشخصات (CPU=2.27 GHz, Ram=4 GB) و از نرم‌افزار متلب (Matlab) برای به‌دست آوردن جواب از طریق شبکه عصبی، شبیه‌سازی تبرید و نرم‌افزار گمس (GAMS) برای محاسبه جواب‌های حل دقیق استفاده شده است.در جدول۵

تعداد ۳۲ مثال شبیه‌سازی شده(no) آورده شده است که در آن تعداد نقاط تقاضا با n، تعداد تسهیلات با p، مکان اختصاص شده به تسهیلباy، مقدار تابع هدف با z و زمان محاسبه‌های انجام شده بر حسب ثانیه نمایش داده شده است.

در مثال‌های عددی شبیه‌سازی شده مسافت بین نقاط تقاضا به‌صورت تصادفی در بازه صفر تا ۲۰۰، شعاع پوششی کوچک‌تر ۵۰ و شعاع پوششی بزرگ‌تر ۱۵۰ در نظر گرفته شده است. سطح پوشش نیز با استفاده از تابع خطی کاهنده رابطه ۷ محاسبه شده است.

چهار معیار جمعیت، حساسیت، دسترسی سریع و پرخطر بودن محدوده به‌صورت تصادفی در بازه ۱ تا ۱۰ برای تمامی نقاط امتیازدهی شده است. وزن هر یک از نقاط با استفاده از فرایند تحلیلسلسله مراتبی در $n=$ ۱۰ (تعداد نقاط کم تقاضا) و شبکه عصبی در $n>$۱۰ محاسبه شده است. در ادامه نقاطی که بیش‌ترین سطح پوشش را داشته باشند، با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مشخص شده و آن نقاط به‌عنوان محل احداث تسهیل در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۵ مقایسه‌های انجام شده بین روش حل دقیق و الگوریتم شبیه سازی تبرید

			حل مسئله پوشش تدریجی با استفاده از شبیه‌سازی تبرید			حل مسئله پوشش تدریجی با استفاده از حل دقیق		
no	n	P	Y	Z	Time(s)	Y	Z	Time (s)
۱	۱۰	۱	۱۰	۱/۰٤۱	۰/۲۸٤	۱۰	۱/۰٤۱	۱/۵۳۸
۲		۲	۱۰،۱۰	۲/۵٤۹	۰/۲۷۱	۱۰،۱۰	۲/۵٤۹	۱/٦۸۲
۳		۳	۱۰،۲۰،۱۰	۳/۳۲۱	۰/۲۸۰	۱۰،۲۰،۱۰	۳/۳۲۱	۱/۷۷۰
٤	۳۰	۱	۲۹	٤/٦۷۸	۰/۹٦۷	۲۹	٤/٦۷۸	۲/۵۱٦
۵		۲	۱۰،۲٤	٦/٤۵۵	۰/۹۹۲	۱۰،۲٤	٦/٤۵۵	۱/۵۲٤
٦		۳	۱۰،۱۳،۲٤	۹/۲۵٦	۰/۹٦۸	۱۰،۱۳،۲٤	۹/۲۵٦	۱/۷۱۱
۷		۵	۲۰،۱۰،۱۲،۳۸	۱۲	۰/۹۱۱	۲۰،۱۰،۱۲،۳۸	۱۲	۱/۸۰۵
۸	۱۰۰	۱	۲۹	۲۵/۹۲۷	٤/۹۸۲	۲۹	۲۵/۹۲۷	۳۵/۹۷۵
۹		۳	۱۰،۹،٦۵	۳۰/٦۷۳	۵/۷۰۰	۱۸،۲۹،۷۸	۳۰/٦٦۵	۱٦/٦٦۷
۱۰		۵	۱۰،۷،۱۷،۲٤،۷۳	۳٤/۰۰۲	۵/٦۵۸	۱،٤۵،٦۸،۷۷،۸۵	۳٤/٤۲٦	٤/۹۳۹

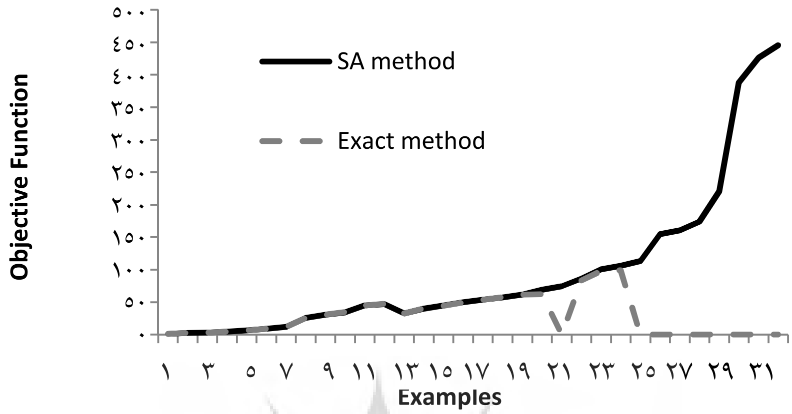
ادامه **جدول ۵**

			حل مسئله پوشش تدریجی با استفاده از شبیه‌سازی تبرید			حل مسئله پوشش تدریجی با استفاده از حل دقیق		
no	n	P	Y	Z	Time(s)	Y	Z	Time (s)
۱۱		۸	۱،٦،۸،۱۲،٥۰،٦۲،٦٥،۹۳	٤٥	٥/۷۲۱	۲،۳،٤،٥،۷،٤٥،٥۲،٥۷	٤٥/۱۳٥	۳/٤۳۲
۱۲		۹	۱،٥،٦،۷،۹،۱۰،٥۷،٦٦،۹۱	٤۷	٥/۸۹٤	۲،۳،٤،٥،۷،۱۱،،٤٥،٥۷، ٦۱	٤۷/٤۸۹	۳/۲۲۹
۱۳		۱	٦٦	۳۲/۸	۱٥/٤۷	٦٦	۳۲/۸	۲۰۰/۰٤٦
۱٤		۲	۱،۱۳۳	٤۰/۰٤٤	۱٥/۱۰۱	۱۳٦،۱۳۹	٤۰/۳۰۷	۷۷/۹۳۱
۱٥	۱٥۰	۷	۲،٦،٥۹،۸۲،۱۰۱،۱۰٥،۱٥۰	٤٤/۸٦۸	۱٥/۱٦٥	۱،۲،۳،٤،۹،۱۳٤،۱۳۷	٤٤/٦۱۲	۱۰/۱۱٥
۱٦		۹	۲،٦،۸،۳۳،٥۱،۱۰۱،۱۰٦،۱۳۸،۱٤ ۱	٥۰	۱۳/۹۹٥	۱،۲،۳،٤،٥،۷،۹،۱٦،۱۰۰	٤۹/۲۷٤	۷/۹۲۷
۱۷		۱	۱۱۰	٥۳/۸۸۰	۱۲/۲۳٦	۱۱۳	٥۳/۹۲٦	۳٤٥/۸۸٤
۱۸		۳	٤۰،۱٤۹،۱٥۷	٥۷/۲۷۸	۱٦/۸۹۷	٤۰،٤۱،۱۱۰	٥۷/٦۱۹	۱۱٥/۷۹٤
۱۹	۲۰۰	۷	٥،۳۰،٤۷،۱۳٥،۱۸۱،۱۸٤،۱۸۸	٦۱/٥٤۰	۷٦/۲۷۸	۱،۲،۳،٦٥،۸۰،۱۲۳،۱۷۰	٦۱/۸۲۹	۹٦/۹۹٤
۲۰		۹	۱،٦،٥٦،٦۱،٦۳،٦٦،۱٦۷،۱۸۳،۱۹ ۰	٦۹/۱۲۰	٦۱/٤٥۷	۱،۲،۳،٤،٥،۷،۱۰،۳٥،۱٤ ۷	٦۲/۰۷۲	۲۳/۸٥۸
۲۱		۱	۱۷۳	۷٤/۲۲۱	۱٤٥/۲۳۲	۰	۰	۱۰۰۳/٦٥۹
۲۲		۳	۷٦،۱٦٥،۱۷۳	۸٦/۱٤٦	۱٤٦/۲۳۷	۷٦،۹۱،۱۷۳	۸۳/۰۸۹	٥۹٦/٤۰۸
۲۳	۲٥۰	۷	۷،۷٥،۱۲۰،۱۹۲،۲۰۸،۲۲۹،۲٤۹	۱۰۰/۷۱۰	۱٦۹/۳۹۷	۱،۳،٤۹،۱۷۳،۱۷٥،۲۱۳، ۲۳٦	۹۷/۸۹۲	۷۲۰/٤۰۲
۲٤		۹	۱،۸،۹،۳٦،٥۹،۱۲٦،۱٦۸،۱۹٥،۲۱ ۳	۱۰٥/۸۷٦	۱۷۲/۱۳۳	۱،۲،۳،٤،٥،٦،۷،٥۰،٥۲	۹۹/۱۳٤	۷٤۰/۰۰۷
۲٥		۱	۲٤۱	۱۱۳/۲۲۱	۱٦۸/۸٤۳	–	–	–
۲٦		۳	۲،۳،۲۰۷	۱٥٤/۸۸٤	۱٦۸/۹۳۸	–	–	–
۲۷	٥۰۰	۷	۱،٤٥،۷٥،۹٦،۱٥۰،۳۲۲،۳۳۹	۱٦۰/٤۹۳	۱۹۰/۳۲۸	–	–	–
۲۸		۹	۱،٤،٥،۱۸،٦٦،۱۷۸،۲٥۳،۳۲۹،٤٤ ۹	۱۷۳/٦٥٥	۱۹۱/۲۹۹	–	–	–
۲۹		۱	۲	۲۲۰/٥۹٦	٥۱٦/٥۹٦	–	–	–
۳۰		۳	۳۱۲،٥٦۱،٥٥۷	۳۸۷/۷۲۷	٤۱۱/۹۲۷	–	–	–
۳۱	۱۰۰۰	۷	۲،٦،٥۳۹،۷٥٤،۸۱۱،۹٥٦،۹٦۹	٤۲٦/٥٤۸	۳۹٤/۳۰۹	–	–	–
۳۲		۹	۱،۱۰،۱۲،۱۷۳،٤۹٦،٥۰۱،،٥۷۳،۷ ۷۳،۷۹۲	٤٤٥/٤٦٥	۷۹۹/۳۹۸	–	–	–

۶- تحلیل حساسیت

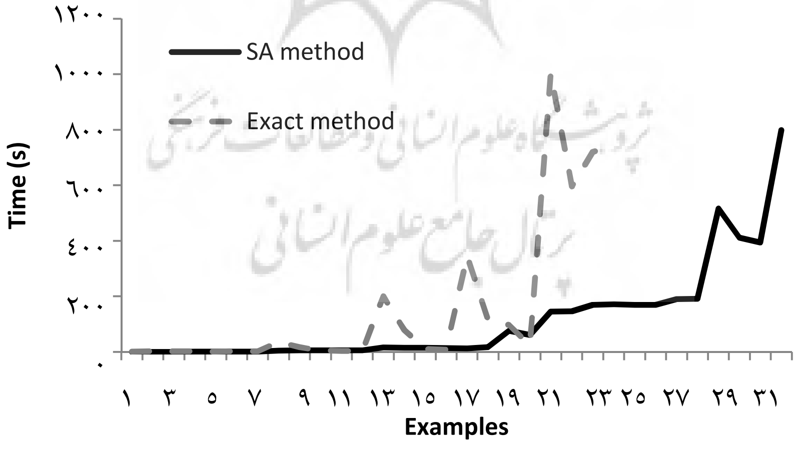
با توجه به نمودار ۱ ملاحظه می‌شودکه جواب‌های به‌دست آمده از هر دو روش حل دقیق و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، زمانیکه تعداد نقاط تقاضا کمتر از ۳۰ باشد، یکسان است.روش حل دقیق از مثال ۲۵ به بعد، یعنی زمانیکه تعداد نقاط تقاضا به عدد ۵۰۰ می‌رسد، دیگر نمی‌تواند جوابی ارائه کند که این موضوع ضعف عمده روش‌های دقیق را بیش از بیش نشان می‌دهد، حال آنکه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای نقاط بیش از ۵۰۰ نیز می‌تواند جواب تولید کند، البته نباید فراموش شود که الگوریتم‌های فرا ابتکاری، روش‌هایی ریاضی یا تلفیق این دو- که برای حل مسائل با تعداد زیاد نقاط تقاضا ارائه می‌شوند- به‌طور الزامنیستند ولی جواب‌های به‌دست آمده از این روش‌ها نزدیک به مقدار بهینه هستند. زمانی که نقاط تقاضا بین عدد ۱۰۰ تا ۵۰۰ می‌باشد، در مجموع جواب‌های به‌دست آمده از روش شبیه‌سازی تبرید نسبت به حل دقیق بهتر است و این همان خصوصیت روش‌های فراابتکاری، یعنی جلوگیری از افتادن در جواب بهینه محلی است.در مثال ۲۱ تعداد تسهیلات برای مکانیابی یک در نظر گرفته شده است و تابع هدف در حل مدل از طریق روش دقیق بعد از گذشت ۱۰۰۳،٦۹ ثانیه برابر با صفر است که نشان می‌دهد تعداد تسهیلات در مدل نقش دارند. از این رو هر چه تعداد تسهیلات بیشتر باشد، روش حل دقیق در زمان کمتر (نمودار ۲) و با قابلیت بیشتر مدل را حل می‌کند. همینطور به‌علت زمان زیاد نرم‌افزار اخطار خارج از زمان می‌دهد و جواب را صفر منظور می‌کند.در نهایت نمودار مذکور نشان میدهد که با افزایش ابعاد مسئله روش‌های حل دقیق برای مسئله مورد نظر کارایی خود را از دست می‌دهند.در خصوص فرایند تحلیل شعاع پوشش تدریجی به این نکته می‌توان اشاره کرد، زمانیکه دو شعاع منطبق بر هم باشند، پوشش تدریجی به پوشش کلایسک تبدیل خواهد شد، بدیهی است که هر چه فاصله دو شعاع از یکدیگر دورتر باشند، دقت جواب‌های به‌دست آمده به واقعیت نزدیک‌تر است.

پرتال جامع علوم انسانی



نمودار ۱مقایسه کیفیت جوابهای بدست آمده از روش دقیق و شبیه سازی تبرید

بحث دیگری که در اختلاف بین این دو روش مورد توجه است، موضوع زمان است که روش شبیه‌سازی تبرید با وجود کارایی بهتردر جواب مسئله زمان محاسبه‌ها را به‌شدت کاهش داده است. این موضوع در نمودار ۲ نمایش داده شده است. از مثال ۲۵ به بعد به‌علت اینکه روش دقیق در دادن جواب ناتوان بود، نمودار قرمز رنگ در این نقطه به پایان رسیده است و در مجموع الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بسیارسریع‌تربه جواب نهایی رسیده است.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نمودار ۲ مقایسه زمان محاسبات دو روش دقیق و شبیه سازی تبرید

تفاوت دیگر دو روش، در پارامتر p است که با افزایش پارامتر p در تعدادنقاط تقاضای یکسان، زمان حل الگوریتم شبیه‌سازی تبرید افزایش پیدا می‌کند حال آنکه زمان حل برای روش دقیق با افزایشp در اغلب مثال‌ها کاهش می‌یابد، البته پارامتر p تأثیر زیادی بر تابع هدف هر دو روش دارد که امری بدیعی است.

۷- نتیجه‌گیری

با استفاده از الگوریتم پیشنهادی خطاهای انسانی در مقایسه‌های زوجی و نرخ ناسازگاری به حد قابل قبولی کاهش پیدا می‌کند. وزن‌های نقاط تقاضا با تعداد کم به‌وسیله فرایند تحلیل سلسله مراتبی و با تعداد زیاد با آموزش شبکه عصبی (نرم‌افزار متلب) محاسبه شده است که از این وزن‌ها در مثال‌های حل شده در مدل پوشش تدریجی استفاده شده است. با استفاده از آزمون رتبه علامتدار کارایی شبکه عصبی در مقایسه با فرایند تحلیل سلسله مراتبی تأیید و همچنین مدل مکانیابی مسئله پوشش تدریجی و رابطه آن با تابع خط کاهنده بیان شد.

هدف اصلی این مقاله معرفی روش کارا، مؤثر و سریع برای وزن‌دهی و حل مسائل مکانیابی پوشش تدریجی چند معیاره است. به این منظور مثال‌های عددی شبیه‌سازی شده با فواصل تصادفیبرای مقایسه الگوریتم ترکیبی و روش حل دقیق در این مقاله ذکر و به تحلیل جواب‌های به‌دست آمده از هر دو روش پرداخته شد. کارایی و صحت الگوریتم پیشنهادی با توجه به مقایسه دو روش از راه نرم‌افزار در تعداد نقاط کم و به‌دست آوردن جواب‌های بهتر این روش با تعداد نقاط زیاد نسبت به حل دقیق اثبات شد. زمانی که با افزایش نقاط تقاضا مواجه شویم و روش‌های حل دقیق نتوانند جواب‌های درستی ارائه کنند، با استفاده از شبکه عصبی در وزن‌دهی و شبیه‌سازی تبرید در حل مدلمی‌توان جواب‌های نزدیک به بهینه را با سرعت بالایی به‌دست آورد.در نهایت نتایج این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- کاهش خطاهای انسانی در مقایسه‌های زوجی برای یافتن وزن‌ها
- وزن دهی صحیح‌تر نقاط تقاضا با استفاده از رویکرد شبکه عصبی و آنالیز سلسله مراتبی
- کاهش زمان برای تصمیم‌گیری مکان‌های قرارگیری تسهیلات و تخصیصات با استفاده از شبیه‌سازی تبرید

- دقت بیشتر در پوشش با استفاده از رویکرد پوشش تدریجی و تابع خطی کاهنده

۷-۱- پیشنهاد برای تحقیقات آینده

در این تحقیق از مدل پوشش تدریجی استفاده شده است، حال آنکه این مدل را می‌توان توسعه داد و حالت پویایی و یا فازی در شعاع‌های پوشش را به مدل اضافه کرد.

استفاده از سایر روش‌های وزندهی مانند تاپسیس به‌جای روش سلسله مراتبی نیزمی‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

این رویکرد می‌تواند در سایر مدل‌های مکانیابی مانند هاب، زنجیره تأمین و ... نیز به‌عنوان مطالعات آینده مرتبط استفاده شود.

۸- منابع

[1] Bashiri M., Hosseini A., Hosseini-nejad J., "Facilities Planning", Tehran; Shahed University, 2009 .

[2] Jafarnejad A., Esmayiliyan M., Rezvani M., "Locating distribution centers using a nonlinear integer programming model", *Modares Journal of Humanities., Special Issue on Management*; 14, 1, 2008.

[3] Berman O., Drezner Z., Dmitry K., "The gradual covering decay location problem on a network", *European Journal of Operational Research;* 151, pp. 474-480, 2003.

[4] Berman O., Jörg K., Dmitry K., Nickel S., "The ordered fradual covering location problem on a network", *Discrete Applied Mathematics;* 157, pp. 3689-3707, 2009.

[5] Berman O., Dmitry K.,"The generalized maximal covering location problem", *Computers & Operations Research;* 29, pp. 563-581, 2002.

[6] Farahani R., Asgari N., Heidari, N., Hosseininia M., Goh M.,"Covering problem in facility location: A review", *Computers & Operation Research*; 62, pp. 368-407, 2012.

[7] Drezner Z.,Wesolowsky G., Drezner T.; "The gradual covering problem", *Naval Research Logistics"*; 51, pp. 841–855, 2004**.**

[8] Berman O., Wang J.," The minmax regret gradual covering location problem on a network with incomplete information of demand weight", *European Journal of Operational Research Society;* 208, pp. 233–238, 2011.

[9] Berman O., Drezner K., Dmitry K.,"Generalized coverage: New developments in covering location models", *Computers & Operations Research*; 37, pp. 1675-1687, 2010**.**

[10] Azar A., Mohamadloo M., "A mathematical model of inventory management in supply chains", *Journal of Management Researches in Iran.,* 11, 3, 2008.

[11] Domnguez E., Munoz J., "A neural model for the *p*-median problem", *Computers & Operations Research;* 35, pp. 404 – 416, 2008.

[12] Adriaan H., Liliane P., Development of a maintenance performance measurement framework-using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection", Omega; 42, pp. 33-46, 2014.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی