

استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در طراحی شبکه‌های اینترنتی جهت تضمین کیفیت سرویس

الهام علی پور چوری^۱، محسن رستمی مال خلیفه^{۲*}، فرهاد حسین زاده لطفی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استاد، گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۵ بهمن ۱۳۹۹

پذیرش مقاله: ۱۸ مرداد ۱۴۰۰

چکیده

انتخاب شبکه اینترنتی برتر توسط کاربران یا ارایه یک شبکه اینترنتی مطلوب توسط خدمت‌دهنده‌گان سیستم‌های ارایه‌دهنده اینترنت، همواره یکی از مسائل مهم تصمیم‌گیری در این حوزه به شمار می‌رود. انتخاب یک شبکه بهینه منحصر به فرد از میان مجموعه‌ای از بهترین شبکه‌ها هنوز یک چالش بزرگ می‌باشد. هدف از این مقاله استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی شبکه‌های اینترنتی موجود به منظور انتخاب مطلوب‌ترین شبکه می‌باشد. به این صورت که ابتدا به شیوه‌سازی یک شبکه اینترنتی خاص جهت تضمین کیفیت سرویس کاربران می‌پردازیم. مدل‌های مختلفی برای تضمین کیفیت سرویس ارایه شده است که از این میان می‌توان به شبکه خدمات متمایز اشاره کرد که توسط IETF ارایه می‌گردد. در معماری خدمات متمایز هیچ مکانیزم کنترل دسترسی در نظر گرفته نشده است. به جهت تضمین کیفیت سرویس، شبکه خدمات متمایز باید از مکانیزم کنترل دسترسی پشتیبانی نماید. به جهت این که مکانیزم کنترل دسترسی بهترین نتیجه را بدهد باید پارامترهای شبکه طوری در نظر گرفته شوند که هم زمان با افزایش کارایی شبکه، میزان اتلاف و تأخیر را حداقل نمایند. سپس با ارایه یک مدل وزن مشترک جدید در DEA به انتخاب مطلوب‌ترین شبکه می‌پردازیم و درنهایت با استفاده از مدل ارایه شده به ارزیابی و رتبه‌بندی ۳۳ شبکه اینترنتی شیوه‌سازی شده پرداخته و خروجی ارزیابی رتبه‌بندی این ۳۳ شبکه اینترنتی می‌باشد که شبکه‌های با رتبه‌های بالا به عنوان مطلوب‌ترین شبکه انتخاب می‌شوند.

کلمات کلیدی: شبکه اینترنتی، کنترل پذیرش تماس، تحلیل پوششی داده‌ها، وزن مشترک، نسبت رضایت.

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: Mohsen_rostamy@yahoo.com

۱ مقدمه

با توسعه سرویس‌های جدید مانند Voice over IP و ویدئو کنفرانس لزوم استفاده از مکانیزم‌هایی برای حمایت از کیفیت سرویس برنامه‌های کاربردی، حس می‌گردد. مدل‌های مختلفی برای تضمین کیفیت سرویس ارایه شده که از این میان می‌توان به خدمات متمایز اشاره کرد که توسط IETF^۱ ارایه می‌گردد. در معماری خدمات متمایز هیچ مکانیزم کنترل دسترسی^۲ در نظر گرفته نشده است. به جهت تضمین کیفیت سرویس، شبکه خدمات متمایز^۳ باید از مکانیزم کنترل دسترسی پشتیبانی نماید. به جهت این که مکانیزم کنترل دسترسی بهترین نتیجه را بدهد باید پارامترهای شبکه طوری در نظر گرفته شوند که هم زمان با افزایش کارایی شبکه، میزان اتلاف و تأخیر را حداقل نمایند. بدین منظور به جهت ارزیابی هم زمان کارایی ورودی‌های مختلف و یافتن بهترین مجموعه ورودی‌ها که بهترین خروجی‌ها را تولید کنند از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها^۴ استفاده شده است.

تحلیل پوششی داده‌هاییک تکنیک ریاضی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs) با چندین شاخص ورودی و خروجی اولین بار با مقاله چارنز و همکاران (۱۹۷۸) معرفی شد^[۱] و طی ۴۰ سال گذشته مقالات مختلفی چه از لحاظ کاربرد در علوم مختلف و چه از لحاظ تئوری ریاضی در این حوزه ارایه شده است [۲]. در DEA هر DMU در بهترین شرایط ارزیابی خواهد شد، و این باعث می‌شود که اگر یک DMU ناکارا باشد با هیچ روش دیگر کارا نشود^[۳].

تحلیل پوششی داده‌ها اندازه کارایی واحدهای تصمیم‌گیری با چندین ورودی و خروجی را به وسیله دادن وزن‌هایی به آن‌ها و به صورت نسبت جمع خروجی‌های وزن‌دار بر ورودی‌های وزن‌دار به دست می‌آورد. لذا هر واحد تصمیم‌گیری می‌تواند مطلوب‌ترین وزن‌ها را برای حاصل شدن ماکریم شاخص کارایی اختیار کند. بنابراین شاخص کارایی به دست آمده بهترین سطح کارایی برای هر واحد تصمیم‌گیری می‌باشد^[۳]. اما انتخاب وزن‌های مختلف برای واحدهای تصمیم‌گیرنده در عمل غیرقابل قبول است. بعضی دانشمندان با ارتباط دادن برنامه‌ریزی چنددهدفه و DEA، تکنیک وزن مشترک^۵ را برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی آن‌ها ارایه دادند^[۴-۶].

سؤالی که در اینجا مطرح است این است که چگونه می‌توان با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها بهترین شبکه اینترنت را انتخاب نمود. درواقع انتخاب بهترین شبکه اینترنتی طراحی شده با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها به چه صورت است؟

اخیراً علی پور و رستمی (۲۰۱۹) با استفاده از مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها به انتخاب بهترین شبکه اینترنتی طراحی شده پرداختند. ارزیابی کارایی به وسیله مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها معمولاً به رتبه‌بندی منحصر به فرد منجر نمی‌شود^[۹]. علاوه بر این مشکل انتخاب وزن‌های ورودی و خروجی متفاوت برای واحدهای تصمیم‌گیرنده وجود دارد. در این مقاله به دنبال ارایه یک مدل وزن مشترک جدید برای ارزیابی و رتبه‌بندی

¹ Internet Engineering Task Force

² Call Admission Control

³ Differentiated Service

⁴ DEA

⁵ Common Weight

شبکه‌های اینترنتی و انتخاب مطلوب‌ترین شبکه می‌باشیم. درواقع کار در دو بخش نظری و کاربردی ارایه خواهد شد. در مرحله اول یک مدل جدید وزن مشترک ارایه خواهد شد. این مدل بر پایه یک مفهوم جدید معروف به نسبت رضایت است. سپس به شبیه‌سازی شبکه‌های کامپیوترا و ارزیابی آن‌ها با استفاده از مدل وزن مشترک می‌پردازیم. در نهایت با استفاده از نمره کارایی وزن مشترک به رتبه‌بندی شبکه‌های کامپیوترا و انتخاب مطلوب‌ترین شبکه کامپیوترا می‌پردازیم.

در ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی می‌شود: در بخش بعدی به مباحث مربوط به طراحی شبکه خدمات متمایز جهت تضمین کیفیت سرویس خواهیم پرداخت. در بخش سوم به ارایه یک مدل جدید وزن مشترک می‌پردازیم. انتخاب مطلوب‌ترین شبکه اینترنتی طراحی شده به وسیله مدل وزن مشترک ارایه شده به عنوان یک کاربرد تجربی آن در بخش چهارم آورده می‌شود. بخش پنجم شامل نتیجه‌گیری و ارایه پیشنهادها است.

۲ پیش‌نیازها

در این بخش مروری بر مدل‌های پوشش در لجستیک امداد در ۱۰ سال گذشته شده است. لازم به ذکر است در این بخش پیش‌نیازهای از مقاله آورده می‌شود به این صورت که ابتدا مکانیزم کنترل پذیرش تماس مبتنی بر پارامتر به لبه شبکه خدمات متمایز اضافه شده و سپس با تغییر ورودی‌های مرتبط که شامل سایز بافر، تعداد منابع ورودی و متوسط نرخ سرویس می‌باشند، خروجی‌ها شامل اتفاف، تاخیر و بهره‌وری با استفاده از روش شبیه‌سازی با شبیه‌ساز NS2 به دست می‌آید. در این پژوهه شبکه خدمات متمایز را به عنوان DMU انتخاب نموده و با دادن ورودی‌های مختلف به آن DMU‌های متفاوت ساخته و سپس کارایی این DMU‌ها توسط مدل‌های DEA بررسی می‌شوند.

۳-۱ الگوریتم کنترل پذیرش مبتنی بر پارامتر

در این زیر بخش الگوریتم ساده‌ای برای کنترل پذیرش تماس معرفی می‌شود که به مسیریاب‌های لبه شبکه خدمات متمایز اضافه گردید. این الگوریتم یک طرح کنترل پذیرش مبتنی بر پارامتر می‌باشد. یعنی کاربر مشخصات ترافیک خود را تعیین می‌سازد. در روش پیشنهادی مقدار میانگین μ و واریانس σ^2 مربوط به ترافیک ورودی باید توسط کاربر مشخص باشد. برای کنترل پهنه‌ای باند از معیار پهنه‌ای باند معادل استفاده می‌شود و پهنه‌ای باند مؤثر منابع مالی پلکس شده از رابطه (۱) به دست می‌آید [۱۰].

$$C(\mu, \sigma^2, \varepsilon) = \mu + \sigma \sqrt{-2 \ln(\varepsilon) - \ln(2\pi)} \quad (1)$$

در روش پیشنهادی مقدار میانگین μ و واریانس σ^2 مربوط به ترافیک ورودی باید توسط کاربر مشخص شود. مقدار آستانه اتفاف بسته را مشخص می‌سازد. لازم به ذکر است که میزان حداکثر نرخ اتفاف بسته در توافق‌نامه سطح سرویسی که فراهم کننده سرویس با کاربر امضاء می‌کند، مشخص می‌شود.

هنگامی که تقاضای جدیدی به لبه شبکه می‌رسد باید تصمیم گرفته شود که آیا پذیرش جریان جدید کیفیت سرویس جریان‌های موجود در شبکه را خدشه‌دار می‌سازد یا نه. با داشتن تعداد منابع فعال و داشتن حداقل نرخ ارسال منبع جدید ترافیک P_{new} و با این فرض که منبع جدید در حال ارسال ترافیک با نرخ حداقل آن می‌بایست می‌توان پنهانی باند لازم برای پذیرش جریان جدید را طبق رابطه (۲) تخمین زد.

$$C_{est} = \sum_{i=1}^n P_i + P_{new} \quad (2)$$

با داشتن C_{total} و اندازه‌گیری C_{est} ، معیار کنترل پذیرش طبق رابطه (۴) ارایه شده است [۱۱].

$$\begin{array}{ll} \text{if } C_{est} \leq C_{total} & \text{admit} \\ \text{if } C_{est} > C_{total} & \text{reject} \end{array} \quad (3)$$

شبکه و مهندسی ترافیک، حداقل پنهانی باندی به اندازه C_{total} به صورت انتها به انتهای موجود باشد. همچنین فرض شده است هر زمان که یک منبع بخواهد فعال شود و ترافیکی را ارسال کند درخواستش را از طریق پروتکل رزرو منابع به اطلاع گردد و درینجا بررسی می‌کنیم که این خواسته ممکن است یا خیر. این مسئله در نظر گرفته شده است. یعنی در هنگام خاتمه یافتن یک سرویس هم، منع مورد نظر به گردد مزدی، خاتمه سرویس را اطلاع می‌دهد [۱۲].

۲-۲ مدل‌های وزن مشترک

فرض کنید که x_{ij} نشان‌دهنده امین ورودی و y_{rj} نشان‌دهنده امین خروجی از زمین واحد تصمیم‌گیری باشد. مدل کسری CCR برای ارزیابی واحد تصمیم‌گیری ۰ام یک مدل برنامه‌ریزی خطی به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \max E_o &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{io}} \\ &\text{s.t.} \\ &\frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ &u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (4)$$

که در آن u_r و v_i به ترتیب وزن‌های به کار گرفته شده برای خروجی‌ها و ورودی‌ها و ε یک عدد کوچک غیر ارشمیدسی می‌باشند. هدف به دست آوردن ماکریتم شاخص کارایی E_0 تحت قیدهایی است که شاخص

کارایی همه واحدها کمتر یا مساوی واحد باشد وقتی که این وزن‌ها را برای آنها به کار می‌بریم. مقدار بهینه از مدل (۴) را اگر با E_j^* نشان دهیم، بهترین سطح کارایی به دست آمده برای E_j DMU می‌باشد [۱۳]. برای به دست آوردن مجموعه مشترک از وزن‌ها برای همه DMU ها می‌توانیم $E^* = (E_1^*, E_2^*, \dots, E_n^*)$ را به عنوان ایده‌آل در نظر بگیریم. در واقع می‌خواهیم بردار کارایی $(E(u, v), E_1(u, v), \dots, E_n(u, v))$ را حاصل از مجموعه مشترک از وزن‌ها را طوری به دست آوریم که با جواب ایده‌آل E^* کمترین فاصله را داشته باشد. برای به دست آوردن درجه نزدیکی بین $E(u, v)$ و $E^*(u, v)$ خانواده‌ی کلی از فاصله‌های زیر را به کار می‌بریم:

$$D_p(E(u, v)) = \left[\sum_{j=1}^n (E_j^* - E_j(u, v))^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad p \geq 1 \quad (5)$$

که p پیانگر پارامتر فاصله می‌باشد. وزن‌های مشترک $E_j(u, v)$ و شاخص کارایی $E_j(u, v)$ وابسته به آن که از مدل برنامه‌ریزی خطی زیر به دست می‌آید را جواب‌های توافقی وابسته به پارامترهای p گوییم. مدل وزن مشترک می‌تواند به صورت زیر باشد [۷]:

$$\begin{aligned} \min D_p &= \left[\sum_{j=1}^n (E_j^* - E_j(u, v))^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad p \geq 1 \\ \text{s.t.} \\ &\frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ &u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (6)$$

که به عنوان مثال برای حالت $p=1$ به جای مدل (۶) می‌توان مدل زیر را حل نمود:

$$\begin{aligned} \max \sum_{j=1}^n \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} \\ \text{s.t.} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned}$$

که این همان مدل لی و رویز (۱۹۹۹) می‌باشد [۱۴].

برای حالتی $p=2$ هدف از مدل (۶) پیدا کردن مجموعه از وزن‌های $(u^{(2)}, v^{(2)})$ می‌باشد که کوتاه‌ترین فاصله بین E^* و E در فضای اقلیدسی معمول را نتیجه می‌دهد. پس مدل وزن مشترک غیرخطی زیر برای حالت $p=2$ به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} \min D_r &= \sum_{j=1}^n \left(E_j^* - \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} \right)^1 \\ s.t. \\ \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (8)$$

و نیز برای حالتی $p = \infty$ اندازه فاصله به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \max_j \{E_j^* - E_j(u, v)\} \\ \text{که هدف مینیمم کردن ماکریم تک تک انحرافات می‌باشد.تابع هدف دو سطحی}^1 \text{ از} \\ \min_{u, v} \max_j \{E_j^* - E_j(u, v)\} \\ \text{را با در نظر گرفتن} \end{aligned}$$

$$w = \max_j \{E_j^* - E_j(u, v)\} \quad \text{می‌توان به صورت برنامه‌ریزی غیرخطی یک سطحی زیر تبدیل نمود:}$$

$$\begin{aligned} \min w \\ s.t. \\ E_j^* - \left(\frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} \right) &\leq w \\ \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (9)$$

در این بخش پیش‌نیازهای مورد استفاده در این مقاله آورده شد. در بخش‌های بعدی یک مدل وزن مشترک جدید ارایه و با استفاده از آن به انتخاب مطلوب‌ترین شبکه‌ای اینترنتی می‌پردازیم.

۳ مدل وزن مشترک ارایه شده

اخیراً و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل وزن مشترک با استفاده از تعریف مفهومی با عنوان درجه رضایت ارایه داده‌اند [۸]. در این بخش ما نیز یک مفهوم جدید با عنوان نسبت رضایت معرفی نموده و به وسیله آن یک مدل وزن مشترک ارایه خواهیم نمود. برای این کار مراحل زیر را انجام می‌دهیم.

مرحله ۱: کارایی خوددارزیابی از DMU^* با استفاده از مدل CCR در DEA به صورت زیر نمایش داده خواهد شد:

¹Two-level

$$\begin{aligned} \max E_d &= \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rd} \\ s.t. \\ \sum_{i=1}^m v_{id} x_{id} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \tag{10}$$

که در آن u_{rd} و v_{id} به ترتیب نمایشی از وزن‌های r امین خروجی و i امین ورودی از DMU_d هستند. حاصل این مدل مقدار ماکزیمم کارایی \bar{E}_d است. برای هر DMU_d یک مجموعه از وزن‌های بهینه $v_{\gamma d}^*, v_{\alpha d}^*, v_{\beta d}^*, v_{\delta d}^*, \dots, v_{\eta d}^*$ با حل مدل (10) به دست می‌آوریم. پس برای ارزیابی کارایی هر DMU_d یک مجموعه وزن‌داریم که کارایی آن DMU_d را در بهترین شرایط محاسبه می‌کند. اما این باعث یک نوع عدم رضایت در بین DMU_d ‌ها می‌شود. شاید بهترین وزن انتخاب شده برای یک DMU_d برای یک DMU_d دیگر قابل قبول نباشد. برای رفع این مشکل از مدل‌های وزن مشترک در DEA استفاده می‌شود.

در ادامه مقدار آنتی‌ایده‌آل کارایی برای DMU_j با توجه به وزن‌های DMU_d را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود.

$$\begin{aligned} \min E_{dj} &= \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} \\ s.t. \\ \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rd} - \bar{E}_d \sum_{i=1}^m v_{id} x_{id} &= 0, \\ \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \tag{11}$$

در اینجا به دنبال مینیمم کردن کارایی DMU_j ($j = 1, \dots, n; j \neq d$) با توجه به وزن‌های بهینه DMU_d هستیم. در اینجا یک ماتریس کارایی به دست می‌آید. که اصطلاحاً ماتریس کارایی بدین نامیده می‌شود. بعد از به دست آوردن ماتریس کارایی بدین، مینیمم مقدار را به عنوان نمره کارایی بدین به صورت زیر به دست می‌آوریم:

$$\underline{E}_d = \min_{j=1, \dots, n} E_{dj} \tag{12}$$

این مقدار برای همه DMU_j نشدند می‌باشد. همچنین DMU_j سعی می‌کند از مقدار کارایی E_j دوری کند. با توجه به این توضیحات مفهوم زیر آورده خواهد شد.

تعريف: برای DMU_j ($j = 1, \dots, n; j \neq d$) نسبت رضایت با توجه به وزن‌های w_i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi_j = \frac{1}{E_j - \underline{E}_j} (w_1(E_j - \underline{E}_j) - w_r(\bar{E}_j - E_j)) \quad (13)$$

در اینجا ϕ_j را نسبت رضایت می‌گوییم و هر چه مقدار آن بیشتر باشد، نشان از رضایت بیشتر است. w_1 و w_r وزن‌های است که از طرف تصمیم‌گیرنده به منظور اهمیت فاصله کارایی از ایده‌آل آن یا آنتی‌ایده‌آل آن می‌باشد. همچنین $w_1 + w_r = 1$ است. در اینجا با توجه به نسبت رضایت تعریف شده در فوق، مدل زیر را برای به دست آوردن وزن مشترک برای همه DMU ‌ها ارایه می‌نماییم.

$$\begin{aligned} \max_{j=1, \dots, n} \phi_j &= \frac{1}{E_j - \underline{E}_j} (w_1(E_j - \underline{E}_j) - w_r(\bar{E}_j - E_j)) \\ \text{s.t.} \\ \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (14)$$

که مقادیر ایده‌آل \bar{E}_j و مقادیر آنتی‌ایده‌آل \underline{E}_j به دست آمده به ترتیب با استفاده از مدل‌های (10) و (11) می‌باشند. همچنین DMU_j با استفاده از مدل وزن مشترک است که با توجه به مدل (14) تعیین می‌شود. در اینجا هدف به دست آوردن ماکریم نسبت رضایت برای DMU_j ($j = 1, \dots, n$) است. اما با استفاده از روش‌های چند هدفه می‌توان آن را به یک مدل برنامه‌ریزی تک هدفه تبدیل نموده و سپس حل نمود [15، 16]. یکی از این روش‌ها که در این مقاله از آن استفاده می‌کنیم روش وزن‌دار شده است. بنابراین با استفاده از روش وزن‌دار شده، مدل (14) به مدل تک هدفه زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \max \sum_{j=1}^n W_j \phi_j \\ \text{s.t.} \\ \phi_j = \frac{1}{E_j - \underline{E}_j} (w_1(E_j - \underline{E}_j) - w_r(\bar{E}_j - E_j)), \quad j = 1, \dots, n \\ E_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n W_j = 1 \\ u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (15)$$

که W_j' وزن مربوط به هدف زدروش وزن دار شده است که به وسیله تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود، اما این وزن‌ها باید نامنفی باشد. توجه کنید که اگر $\sum_{j=1}^n W_j' = \bar{E}_{dj}$ (برای $d = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$) باشند در کسر نسبت رضایت ۱ قرار می‌دهیم. خروجی این مدل، محاسبه کارایی وزن مشترک برای همه DMU‌ها است. با توجه به مطالب فوق، فرآیند زیر را برای رتبه‌بندی DMUs با توجه به نسبت رضایت خواهیم داشت:

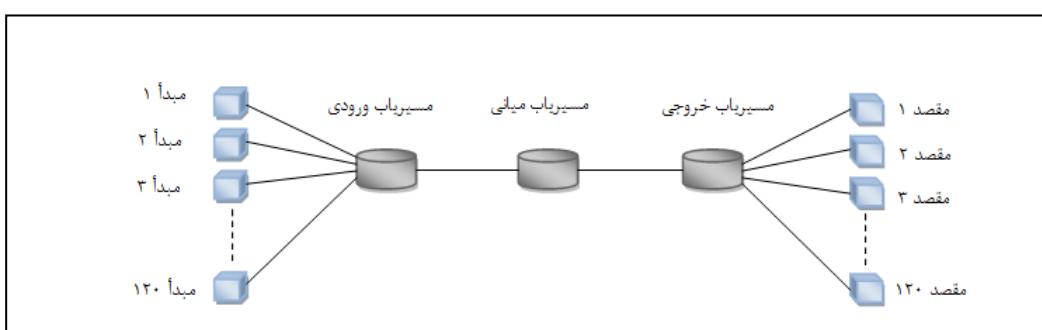
فرآیند پیشنهادی:

- ۱- ابتدا با استفاده از مدل (۱۰) مقادیر کارایی \bar{E}_d برای ($d = 1, \dots, n$) را محاسبه می‌کنیم.
- ۲- با استفاده از مدل (۱۱) مقادیر E_{dj} را برای به دست آوردن ماتریس کارایی بدین به دست می‌آوریم.
- ۳- با استفاده از رابطه (۱۲) مقادیر کارایی بدین j را محاسبه می‌نماییم.
- ۴- با استفاده از مدل (۱۵) کارایی وزن مشترک را برای همه DMU‌ها به دست می‌آوریم.
- ۵- رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده را بر اساس امتیاز کارایی وزن مشترک انجام می‌دهیم.

۴ ارزیابی و انتخاب مطلوب ترین شبکه کامپیوتروی

۴-۱ توپولوژی شبکه شبیه‌سازی شده

برای ارزیابی کارایی الگوریتم کنترل پذیرش در شبکه خدمات متمایز، از شبیه‌ساز ۲-NS استفاده گردید. توپولوژی استفاده شده توپولوژی dumbbell بوده است که در شکل ۱ نشان داده شده است. این شبکه به عنوان DMU در نظر گرفته شده و با تعیین ورودی‌های مختلف به آن DMU‌های متفاوتی می‌سازیم.



شکل ۱. توپولوژی شبکه [۹]

در این پژوهه به شبیه‌سازی دو کلاس ترافیک شبکه خدمات متمایز پرداخته شده است: کلاس خدمات ممتاز یا کلاس EF و کلاس بهترین تلاش یا BE1. تعداد ۱۲۰ منبع در توپولوژی مورد نظر در نظر گرفته شده است که وظیفه تولید ترافیک در شبکه را برعهده دارند. این منابع، دو نوع ترافیک را تولید می‌کنند. ترافیک EF، ترافیک VoIP می‌باشد و ترافیک BE، ترافیک بهترین تلاش بوده که در صد بالایی از

^۱Best Effort

ترافیک موجود در شبکه جهانی اینترنت را تشکیل می‌دهد.

۴-۲ تعریف ورودی‌ها و خروجی‌ها

ورودی اول: از میان منابع، تعداد منابعی که به تولید ترافیک EF می‌پردازند را ورودی اول در نظر می‌گیریم که مقادیر این ورودی‌ها در جدول ۱ آمده است. مناسب با این ورودی‌ها تعداد منابع BE نیز تغییر می‌کند که برابر تفاضل تعداد منابع EF از کل منابع می‌باشد. برای این دو کلاس از ترافیک از صفاتی جدالگانه استفاده شده است.

ورودی دوم: سایز صفت ترافیک EF به عنوان ورودی دوم در نظر گرفته می‌شود که مقدار آن‌ها در جدول ۱ آمده است. سایز صفت کلامس BE برابر ۲۰ در نظر گرفته شده است. برای مدل کردن ترافیک VoIP از مدل منبع Exponential ON/OFF، که زمان‌های ON و OFF آن به صورت نمایی توزیع شده‌اند، استفاده شده است. میانگین طول مدت بازه‌های ON و OFF به ترتیب برابر $1/004$ و $1/587$ ثانیه در نظر گرفته شده است. حداقل نرخ انتقال در زمان ON بودن منبع برابر 64Kbps می‌باشد. در مورد ترافیک بهترین تلاش هم از منابع با نرخ بیت ثابت ۵۰ Kbps استفاده شد. طول مدت برقراری ترافیک یک منبع، یک عدد تصادفی با توزیع نرمال و میانگین 10 ثانیه در نظر گرفته شده است. ظرفیت لینک خروجی $3/1\text{Mbps}$ می‌باشد که این ظرفیت بین دو ترافیک EF و BE تقسیم می‌گردد.

ورودی سوم: میزان ظرفیت لینک اختصاص داده شده به ترافیک EF را ورودی سوم در نظر می‌گیریم که در جدول ۱ آمده است.

با انجام شبیه‌سازی برای هر یک از DMU‌ها به مدت زمان 1000 ثانیه، خروجی‌های مورد نظر به دست آمده است.

خروجی اول: میزان اتلاف بسته‌های مربوط به ترافیک EF

خروجی دوم: میزان تاخیر ارسال بسته‌های ترافیک EF از مبدأ به مقصد

خروجی سوم: بهره‌وری شبکه مورد نظر.

DMU‌ها و مقادیر ورودی و خروجی در جدول ۱ ارایه شده است.

میزان ظرفیت بافر = I3

سایز بافر = I2

تعداد منابع ورودی = I1

تاخیر = O3

اتلاف = O2

بهره‌وری = O1

¹Constant Bit Rate (CBR)

جدول ۱. مقادیر ورودی و خروجی‌های شبکه‌های اینترنتی

DMUs	ورودی ۱	ورودی ۲	ورودی ۳	خروجی ۱	خروجی ۲	خروجی ۳
DMU1	۹۰	۳	۶۰۰	۸۳/۴۶	۵/۳۷	۱۳/۹۴
DMU2	۷۰	۳	۶۰۰	۸۴/۶۲	۴/۲۸	۱۳/۵۲
DMU3	۵۰	۳	۶۰۰	۸۵/۷۳	۳/۸۹	۱۳/۶۰
DMU4	۳۰	۳	۶۰۰	۸۵/۰۲	۴/۱۹	۱۳/۹۴
DMU5	۹۰	۴	۵۰۰	۸۵/۸۵	۶/۱۹	۱۵/۳۷
DMU6	۷۰	۴	۵۰۰	۸۷/۵۰	۵/۲۸	۱۴/۶۸
DMU7	۵۰	۴	۵۰۰	۸۲/۳۲	۳/۳۵	۱۴/۳۵
DMU8	۳۰	۴	۵۰۰	۸۴/۳۶	۵/۶۵	۱۵/۲۵
DMU9	۵۰	۳	۵۰۰	۸۵/۴۹	۶/۹۷	۱۴/۰۰
DMU10	۵۰	۳	۵۰۰	۸۴/۴۷	۶/۷۵	۱۴/۹۳
DMU11	۳۰	۵	۵۰۰	۸۴/۸۸	۵/۴۲	۱۵/۸۲
DMU12	۵۰	۵	۵۰۰	۸۴/۶۷	۲/۸۵	۱۴/۴۶
DMU13	۷۰	۵	۵۰۰	۸۶/۰۵	۳/۸۷	۱۵/۲۴
DMU14	۳۰	۴	۷۰۰	۷۹/۸۵	۰/۱۲	۱۳/۵۵
DMU15	۳۰	۳	۷۰۰	۷۸/۰۰	۲/۴۵	۱۳/۴۰
DMU16	۵۰	۳	۷۰۰	۷۸/۵۰	۲/۰۹	۱۲/۹۷
DMU17	۷۰	۳	۷۰۰	۷۶/۹۱	۲/۲۲	۱۳/۰۷
DMU18	۷۰	۴	۷۰۰	۷۸/۷۰	۰/۱۰	۱۳/۲۷
DMU19	۶۰	۳	۵۰۰	۸۶/۷۲	۵/۵۴	۱۳/۲۷
DMU20	۹۰	۴	۷۰۰	۷۸/۶۶	۰/۰۸	۱۳/۳۵
DMU21	۹۰	۵	۶۰۰	۸۸/۱۶	۱/۳۵	۱۴/۷۵
DMU22	۷۰	۵	۶۰۰	۵۵/۴۲	۰/۶۳	۱۴/۲۳
DMU23	۳۰	۵	۶۰۰	۸۸/۵۴	۱/۰۵	۱۴/۸۳
DMU24	۵۰	۵	۶۰۰	۸۸/۷۲	۰/۳۹	۱۳/۹۶
DMU25	۷۰	۲	۶۰۰	۷۷/۵۶	۱۲/۳۵	۱۳/۰۰
DMU26	۹۰	۳	۷۰۰	۷۲/۳۹	۵/۷۰	۱۲/۵۲
DMU27	۹۰	۳	۷۰۰	۸۲/۸۹	۹/۳۰	۱۴/۴۶
DMU28	۹۰	۵	۵۰۰	۸۷/۱۱	۶/۳۱	۱۶/۴۸
DMU29	۵۰	۴	۷۰۰	۸۰/۰۷	۰/۱۳	۱۳/۰۶
DMU30	۹۰	۴	۶۰۰	۸۶/۵۴	۲/۱۲	۱۴/۶۰
DMU31	۷۰	۳	۶۰۰	۸۷/۲۱	۶/۳۱	۱۴/۱۹
DMU32	۳۰	۴	۶۰۰	۸۷/۸۲	۱/۶۲	۱۴/۵۸
DMU33	۵۰	۴	۶۰۰	۸۸/۰۷	۱/۱۰	۱۳/۷۹

۴-۳ نتایج شبیه‌سازی

در این بخش به ارزیابی مطلوب‌ترین شبکه اینترنتی با استفاده از الگوریتم ارایه شده در این مقاله می‌پردازیم. در مرحله اول از مدل (۱۰) استفاده می‌کنیم و کارایی خوددارزیابی را به دست می‌آوریم که نتایج اجرای مدل در جدول ۲ آورده شده است. توجه کنید که تمام مدل‌های برنامه‌ریزی خطی در اینجا با استفاده از نرم افزار لینگو ۱۱ اجر شده است.

جدول ۲. نتایج خوددارزیابی با استفاده از مدل (۱۰)

نمره کارایی	DMU	نمره کارایی	DMU
۰/۶۸	DMU18	۰/۹	DMU1
۱	DMU19	۰/۹	DMU2
۰/۶۸	DMU20	۰/۹۴	DMU3
۰/۸۳	DMU21	۱	DMU4
۰/۷۵	DMU22	۱	DMU5
۱	DMU23	۰/۹۶	DMU6
۰/۸۶	DMU24	۰/۹۵	DMU7
۰/۷۸	DMU25	۱	DMU8
۱	DMU26	۱	DMU9
۱	DMU27	۱	DMU10
۱	DMU28	۱	DMU11
۰/۷	DMU29	۰/۹۸	DMU12
۰/۸۴	DMU30	۰/۹۸	DMU13
۱	DMU31	۰/۹۱	DMU14
۱	DMU32	۰/۹۳	DMU15
۰/۸۶	DMU33	۰/۸۴	DMU16
		۰/۷۷	DMU17

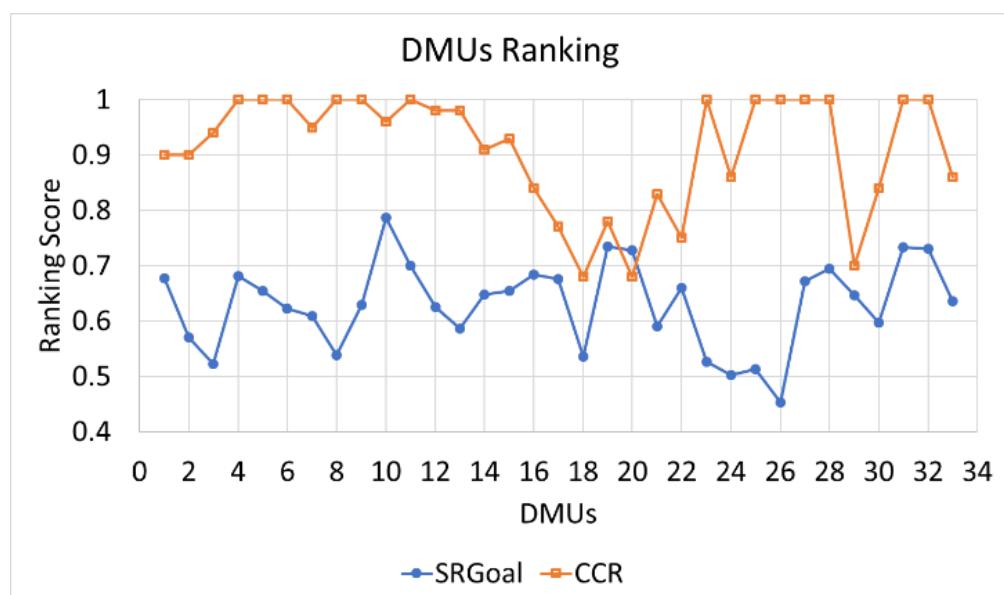
همان‌طور که از جدول ۲ می‌بینید، از مجموع ۳۳ واحد تصمیم‌گیری تعداد ۱۲ واحد نمره کارایی ۱ را کسب نموده اند و کارا می‌باشند و بقیه واحدهای تصمیم‌گیری ناکارا می‌باشند. سوالی که در اینجا به وجود می‌آید این است که مطلوب‌ترین شبکه کدام DMU است؟ در اینجا با توجه به نتایج مدل (۱۰) هر ۱۲ واحد تصمیم‌گیری کارا انتخاب مطلوبی برای شبکه کامپیوتری هستند و نمی‌توان انتخاب منحصر به فردی داشت. در ادامه برای انتخاب منحصر به فرد از الگوریتم پیشنهادی استفاده می‌کنیم. به این صورت که ابتدا مدل (۱۱) حل شده و با استفاده از نتایج آن ماتریس نمره کارایی بدین را تشکیل می‌دهیم. بعد از رابطه (۱۲) استفاده نموده و مقدار کارایی بدین E به دست می‌آید. در نهایت از مدل (۱۵) استفاده نموده و با اجرای مدل نمره کارایی وزن مشترک به دست می‌آید که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. نمره کارایی وزن مشترک بر پایه نسبت رضایت

ردیف	نمره کارایی وزن مشترک	DMUs
۱۰	.۶۷۷۵۷۶	DMU1
۲۶	.۵۷۰۳۰۳	DMU2
۳۰	.۵۲۲۴۲۴	DMU3
۹	.۶۸۱۲۱۲	DMU4
۱۴	.۶۵۴۵۴۵	DMU5
۲۱	.۶۲۳۰۳	DMU6
۲۲	.۶۰۹۰۹۱	DMU7
۲۷	.۵۳۸۴۸۵	DMU8
۱۹	.۶۲۹۶۹۷	DMU9
۱	.۷۸۷۲۷۷	DMU10
۷	.۶۹۹۳۹۴	DMU11
۲۰	.۶۲۵۷۵۸	DMU12
۲۵	.۵۸۶۶۹۷	DMU13
۱۶	.۶۴۷۸۷۹	DMU14
۱۵	.۶۵۴۲۴۲	DMU15
۸	.۶۸۴۲۴۲	DMU16
۱۱	.۶۷۵۷۵۸	DMU17
۲۸	.۵۳۶۰۶۱	DMU18
۲	.۷۳۴۸۱۸	DMU19
۵	.۷۲۷۲۷۷	DMU20
۲۴	.۵۹۰۳۰۳	DMU21
۱۳	.۶۵۹۳۹۴	DMU22
۲۹	.۵۲۶۹۷	DMU23
۳۲	.۵۰۲۷۲۷	DMU24
۳۱	.۵۱۳۶۳۶	DMU25
۳۳	.۴۵۲۳۳۳	DMU26
۱۲	.۶۷۱۸۱۸	DMU27
۷	.۶۹۴۸۴۸	DMU28
۱۷	.۶۴۶۶۹۷	DMU29
۲۳	.۵۹۷۵۷۶	DMU30
۳	.۷۳۳۰۰۳	DMU31
۴	.۷۳۰۹۷	DMU32
۱۸	.۶۳۶۰۶۱	DMU33

در ستون سوم جدول ۳ رتبه شبکه‌های اینترنتی آورده شده است. همان‌طور که می‌بینید الگوریتم پیشنهادی یک رتبه‌بندی منحصر به فرد از شبکه‌های اینترنتی ارایه داده است به طوری که شبکه‌های ۱۰، ۱۹ و ۳۱ به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را کسب نموده‌اند و می‌توان گزینه‌های خوبی برای انتخاب مطلوب‌ترین شبکه باشند. همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد هدف انتخاب مطلوب‌ترین شبکه‌ای اینترنتی می‌باشد. برای این کار تعداد ۳۳ شبکه‌ای اینترنتی شبیه‌سازی گردید. در ادامه هدف انتخاب مطلوب‌ترین شبکه‌ها با استفاده از مدل وزن مشترک ارایه شده در این مقاله می‌باشد. نتایج مدل نشان داد که شبکه‌های اینترنتی ۱۰، ۱۹ و ۳۱ نسبت به سایرین مطلوب‌تر می‌باشند. اطلاعات این شبکه‌ها در جدول ۴ و ۵ آورده شده است.

علاوه بر این در شکل ۲ نتایج رتبه‌بندی شبکه‌های اینترنتی حاصل از دو مدل CCR و الگوریتم پیشنهادی باهم مقایسه شده است. نمودار به طور واضح نشان می‌دهد که مدل CCR دارای ۱۲ واحد تصمیم‌گیری کارا با نمره کارایی ۱ می‌باشد، و هیچ انتخاب منحصر به فردی برای مطلوب‌ترین شبکه وجود ندارد. در حالی که در الگوریتم پیشنهادی، شبکه‌های اینترنتی ۱۰، ۱۹ و ۳۱ رتبه یک تا سه را به ترتیب به دست آورده‌اند. طبق نتایج مدل پیشنهادی، شبکه ۱۰ به عنوان مطلوب‌ترین شبکه انتخاب می‌شود.



شکل ۲. نمره کارایی برای دو مدل

هدف اصلی تحقیق، انتخاب مطلوب‌ترین شبکه با استفاده از روش وزن مشترک می‌باشد. نتایج مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که شبکه‌های اینترنتی ۱۰، ۱۹ و ۳۱ رتبه یک تا سه را به ترتیب به دست آورده‌اند و جزو مطلوب‌ترین شبکه‌ها می‌باشند. این سه شبکه در جدول ۴ نشان داده شده است. ورودی و خروجی‌های این سه شبکه می‌توانند معیاری برای سنجیدن شبکه‌های مطلوب باشند.

جدول ۴. مقادیر ورودی و خروجی‌های بهترین شبکه‌ها

	ورودی ۱	ورودی ۲	ورودی ۳	خروجی ۱	خروجی ۲	خروجی ۳	ورودی ۱	ورودی ۲	ورودی ۳	DMUs
۱۴/۹۳	۶/۷۵	۸۴/۴۷	۵۰۰	۳	۵۰	۱۴/۹۳	DMU10			
۱۳/۲۷	۵/۵۴	۸۶/۷۲	۵۰۰	۳	۶۰	۱۳/۲۷	DMU19			
۱۴/۱۹	۶/۳۱	۸۷/۲۱	۶۰۰	۳	۷۰	۱۴/۱۹	DMU31			

برای این که بتوانیم از بین این سه شبکه بهترین شبکه اینترنتی نهایی را به دست آوریم از میانگین ورودی و خروجی‌های این سه شبکه به عنوان معیار برای انتخاب بهترین شبکه استفاده می‌کنیم. در واقع شبکه‌ای مطلوب می‌باشد که تعداد منابع ورودی آن برابر 60 ، سایز بافر برابر 3 ، میزان ظرفیت بافر برابر $3/533$ ، تاخیر برابر $13/6$ ، اتلاف برابر $2/6$ و بهره‌وری برابر $13/14$ باشند. پس با این کار یک پیشنهاد بهینه برای انتخاب مطلوب‌ترین شبکه مطابق با جدول ۵ ارایه داده شد.

جدول ۵. انتخاب بهترین شبکه

	ورودی ۱	ورودی ۲	ورودی ۳	خروجی ۱	خروجی ۲	خروجی ۳				
۱۴/۱۳	۶/۲	۸۶/۱۳	۵۳۳/۳	۳	۶۰	۱۴/۱۳	DMUd			

اگر یک مقایسه بین بهترین شبکه و بدترین شبکه با استفاده از روش پیشنهادی داشته باشیم باید دو شبکه 10 (بهترین شبکه) و شبکه 26 (بدترین شبکه) در نظر گرفته شود. در شاخص‌های ورودی شبکه 10 در مقایسه با شبکه 26 همواره ورودی کمتری نیاز دارد و در شاخص‌های خروجی شبکه 10 در مقایسه با شبکه 26 همواره خروجی بیشتری دارد. به این خاطر شبکه 10 رتبه به مراتب خیلی بهتر نسبت به شبکه 26 را کسب نموده است.

۵ نتیجه‌گیری

در ایران، اگرچه تاکنون مقوله کیفیت سرویس مورد توجه زیادی قرار نگرفته؛ اما به دو دلیل پیش‌بینی می‌شود که در آینده نزدیک اهمیت بیشتری برای آن قایل شوند. دلیل نخست، ظهور شبکه‌های نسل آینده NGN¹ مبتنی بر IP است که به دنبال خود تنوعی از سرویس‌ها را به همراه خواهد آورد و از این سرویس‌ها در بخش تجاری استفاده خواهد شد و مشتریان این سرویس‌ها باید از طرف سرویس‌دهندگان دستخوش ضرر و زیان گرددند. دلیل دوم نیز که البته بی ارتباط به دلیل نخست نیست، روند خصوصی‌سازی و آزادسازی است که امید می‌رود تا بازاری رقابتی در کشور فراهم نماید. در چنان بازاری، سرویس‌دهندگانی در عرصه رقابت باقی خواهند ماند که بتوانند کیفیت تضمین شده‌ای به مشتریان ارایه دهند. معماری خدمات متمایز، تکنولوژی می‌باشد که می‌تواند کیفیت سرویس را حتی برای سرویس‌های زمان حقیقی تأمین کند. برای این که به قابلیت مقیاس‌پذیری و یک مدل سرویس کارآمد به طور همزمان دست‌یابیم به کنترل پذیرش تماس نیاز می‌باشد.

¹Next Generation Network

به جهت تضمین کیفیت سرویس، شبکه خدمات متمایز باید از روش کنترل پذیرش، پشتیبانی نماید. الگوریتم کنترل پذیرش مناسب تأثیر مهمنی بر کارایی شبکه دارد. الگوریتمی که بیش از حد لزوم از پذیرش جریان‌هایی که می‌توانند به طور موفق پذیرش شوند جلوگیری می‌کند، منابع شبکه را به حالت زیر بهره‌وری خواهد برد. به طور مشابه الگوریتمی که جریان‌های زیادی را به طور نادرست پذیرد باعث تخطی از کیفیت سرویس ضمانت شده می‌شود.

در این مقاله ابتدا مکانیزم کنترل پذیرش تماس مبتنی بر پارامتر به لبه شبکه خدمات متمایز اضافه شده و سپس با تغییر ورودی‌های مرتبط که شامل سایز بافر، تعداد منابع ورودی و متوسط نرخ سرویس می‌باشند، خروجی‌ها شامل اتلاف، تاخیر و بهره‌وری با استفاده از روش شبیه‌سازی با شبیه‌ساز NS2 به دست آمده‌است. سپس یک روش موثر برای طراحی بهینه شبکه جهت دستیابی به حداکثر بهره‌وری و استفاده بهینه از کلیه امکانات شبکه ارایه شده است، شبکه خدمات متمایز را به عنوان DMU انتخاب نموده و با دادن ورودی‌های مختلف به آن DMU‌های متفاوت ساخته و سپس کارایی این DMU‌ها توسط مدل‌های DEA بررسی شده است. در این مقاله یک مدل وزن مشترک برای ارزیابی و رتبه‌بندی شبکه‌های اینترنتی و انتخاب مطلوب‌ترین شبکه ارایه گردید. درنهایت با استفاده از نمره کارایی وزن مشترک به رتبه‌بندی شبکه‌های کامپیوتری و انتخاب مطلوب‌ترین شبکه کامپیوتری پرداختیم.

الگوریتم پیشنهادی یک رتبه‌بندی منحصر به فرد از شبکه‌های اینترنتی ارایه داده است به‌طوری که شبکه‌های ۱۹ و ۳۱ از بین ۳۳ شبکه مورد بررسی، به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را کسب نموده‌اند و می‌توانند گزینه‌های خوبی برای انتخاب مطلوب‌ترین شبکه باشند.

منابع

- [1] Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research 2, 429–444.
- [2] Emrouznejad, A. and Liang Yang, G. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. Socio-Economic Planning Sciences. (61), 4-8.
- [3] Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu J. (2011) Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. In: Cooper W., Seiford L., Zhu J. (eds) Handbook on Data Envelopment Analysis. International Series in Operations Research & Management Science, vol 164. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8_1.
- [4] Chen, Y-W. Larbani, M. Chang, Y-P(2009).Multiobjective data envelopment analysis. J Opl Res Soc 60: 1556-1566.
- [5] Doyle, J., Green, R., (1994). Efficiency and cross efficiency in DEA: Derivations, meanings and the uses. Journal of the Operational Research Society 45 (5), 567 578.
- [6] Golany B and Yu G (1995). A goal programming-discriminantfunction approach to the estimation of an empirical productionfunction based on DEA results. J Prod Anal 6: 171–186
- [7] Kao C and Hung CT . (2005) Data envelopment analysis with common weight: The compromise solution approach. J Opl Res Soc 56, 1196-1203
- [8] Wu, J., Chu, J., Zhu, Q., Li, Y., Liang, Y. (2016). Determining common weights in data envelopment analysis based on the satisfaction degree. Journal of the Operational Research Society, 1-13
- [9] Alipour Chavari, E. and Rostamy-Malkhalifeh, M (2019). Internet network design for quality of service guarantee using Data Envelopment Analysis (DEA). international data envelopment analysis. 7(2), 1-14.

- [10] Alipour, E. and Mohammadi, K.(2008). Adaptive admission control for quality of service guarantee in differentiated services networks. IJCSNS 8.6, 93.
- [11] Yese, Solomon Orduen, Abdulhakeem Abdulazeez, and Aminu Mohammed. (2019). Performance Evaluation of Dynamic QoS-Aware CAC (DQA-CAC) Algorithm for Broadband Networks." European Journal of Electrical Engineering and Computer Science 3.6.
- [12] Zanuttini, Deolindo, et al. "Using Software Defined Networking for Call Admission Control and VoIP applications." 2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI). IEEE, 2018.
- [13] Goker, N., Karsak, E.E. (2021). Two-stage common weight DEA-Based approach for performance evaluation with imprecise data. Socio-Economic Planning Sciences, 74 (1), 1-13.
- [14] Li X.B and Reeves G.R. (1999). A multiple criteria approach to data envelopment analysis .Eur J Opl Res 115 507-517
- [15] Ehrgott, M. 2000. Multicriteria Optimization, volume 491 of LectureNotes in Economics and Mathematical Systems. Springer-Verlag,Berlin,.
- [16] Karimi, M., Karimi, B. (2017). Linear and conic scalarizations for obtaining properly efficient solutions in multiobjective optimization. Mathematical Sciences, 11(4), 319-325.