طراحی مدل یکپارچه ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا

(ارزیابی کیفیت خدمات در بستر اینترنت اشیا)

مرتضی ناصری نژاد | دانشجوی دکتری مهندسی صنایع
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

محمدرضا نباتچیان* | دکتری مهندسی صنایع
استادیار، دانشگاه آزاداسلامی، واحد تهران مرکز، تهران، ایران

محمد جواد ارشادی | دکتری مهندسی صنایع
دانشیار، پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران، تهران، ایران

ویرایش نشده آماده انتشار زود

دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۵ | پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱ | مقاله برای اصلاح به مدت ۱ روز نزد پدیدآوران بوده است.

چکیده: کیفیت خدمات در اینترنت اشـیا (IoT) به دلیل پیچیدگی و یکپارچگی ذاتی و همچنین تنوع دسـتگاه‌ها، پروتکل‌ها و شـبکه‌ها یکی از دغدغه‌های اصـلی کاربران بوده واین مسائل اطمینان از کیفیت پایدار را دشوار می کند. اتصال ناپایدار شبکه، تأخیر و از دست دادن داده‌ها را به دنبال دارد و آسـیب‌پذیری‌های امنیتی در دسـتگاه‌ها و شـبکه‌ها، خطرات حریم خصـوصـی و قطعی سـرویس را افزایش می‌دهد. عواملی مانند تأخیر، توان عملیاتی محدود و منابع ناکافی، پاسخگویی و کارایی خدمات اینترنت اشیا را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با افزایش تعداد دسـتگاه‌های متصـل، حفظ کیفیت خدمات در کنار مدیریت حجم داده و پیچیدگی، چالش‌برانگیزتر می‌شـود. فقدان اسـتانداردهای یکپارچه برای قابلیت همکاری، امنیت و حریم خصوصی داده‌ها نیز این چالش‌ها را تشدید می کند. تمامی این موارد زمانی که یک شرکت یا سـازمان خدمات خود را با تمرکز بر اینترنت اشـیا ارائه می‌دهد، بیشـتر خود را نشـان میدهند و مدیریت مسـاله را سـختتر می کنند. در مواجه با این چالش، طراحی یک مدل کیفیت جامع برای خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا ضروری است. این مدل با بهبود تجربه کاربر از طریق ارائه خدمات پایدار و قابل اعتماد، رضـایت و پذیرش فناوری اینترنت اشـیا را افزایش می‌دهد و در عین حال با ارائه اولویت هزینه‌های سازمان ارائه دهنده خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا را کاهش می‌دهد. افزایش کارایی از طریق بهینه‌سازی عملکرد، استفاده مناسب از منابع و مدیریت داده، حفظ حریم خصـوصـی و تقویت نوآوری از دیگر اهداف و پیامدهای این مدل اسـت. در این تحقیق ابتدا با بررسـی مقالات مختلف مرتبط با ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشـیا، معیارهای مختلف ارزیابی احصـا شـدند و سـپس با تشـکیل گروه خبرگان و با اسـتفاده از روش دلفی، معیارهای اصـلی و فرعی ارزیابی شـدند. پس از این مرحله، معیارهای

نشریهٔ علمی (رتبه بین المللی)
پژوهشگاه علوم و فنّاوری اطلاعات ایران
شاپا(چاپی) ۸۲۲۳- ۲۲۵۱
شاپا(الکترونیکی) ۸۲۳۱- ۲۲۵۱
نمایه در LISTA، SCOPUS و ISC
http://jipm.irandoc.ac.ir
دوره xx | شمارهٔ x | ص ص xx-xx
۱۳xx x

نوع مقاله: مروری / پژوهشی

به این مقاله به شکل زیر استناد کنید:

درون متن:
(ناصری نژاد ، نباتچیان، ارشادی، زودآیند)

در فهرست منابع:
ناصری نژاد، مرتضی. نباتچیان ، محمدرضا. ارشادی ، محمد جواد. زودآیند. طراحی مدل یکپارچه ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا . *پژوهشنامه پردازش و مدیریت اطلاعات*.
(دسترسی در http:Jipm.irandoc.ac.ir// روز/ماه/سال)

پژوهش‌نامهٔ پردازش و مدیریت اطلاعات

X xx ۱۳ | دورهٔ xx | شمارهٔ x

بدست آمده، با توجه به شاخص‌های ارزیابی عملکرد و با روش تاپسیس رتبه‌بندی شدند. قابلیت اطمینان، امنیت و حریم خصوصی و کیفیت داده و اطلاعات تاثیرگذارترین معیارهای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا هستند.

کلیدواژه‌ها: کیفیت خدمات، اینترنت اشیا، ارزیابی عملکرد، شاخص های کلیدی موفقیت

* رابط moh.nabatchian@iauctb.ac.ir

۱. مقدمه

تا پیش از سال ۱۹۸۸ موضوع کیفیت عموما برای کیفیت کالا و تجهیزات مطرح می‌شد، اما با ارائه مدل کیفیت خدمات (SERVQUAL) توسط پاراسومان ارزیابی کیفیت خدمات بعنوان یک موضوع جذاب در سازمان‌های مختلف بررسی شد. همزمان با بروز، و توسعه خدمات مبتنی بر کامپیوتر و سپس مبتنی بر شبکه و فناوری اطلاعات مدل هایی برای ارزیابی کیفت خدمات سازمان ها و عملکرد سیستم‌های مبتنی فناوری های نوظهور ارائه شد. طی سالیان اخیر، فناوری های نظیر هوش مصنوعی، بلاک چین، اینترنت اشیا و ... موجب ایجاد نسل چهارم صنعت شده‌اند و روز به روز استفاده از این فناوری‌ها در صنایع مختلف بیشتر می‌شود. به طبع با تغییر فناوری مدل‌های ارزیابی کیفیت آن نیز باید تغییر کند.

اینترنت اشیا (Internet of Things) که به اختصار IoT شناخته می شود، به شبکه‌ای از اشیاء فیزیکی (اشیاء) اشاره دارد که با حسگرها، نرم‌افزار و سایر فناوری‌ها برای اتصال و تبادل داده با سایر دستگاه‌ها و سیستم‌ها از طریق اینترنت متصل و هماهنگ شده‌اند اشاره دارد. این فناوری، توسعه یافته‌ی فناوری‌های ارتباط از راه دور است که اختیارات بسیار زیادی را به نسبت نسل‌های قبلی در خدمت کاربران قرار می‌دهد.

براساس گزارش منتشرشده توسط مؤسسه فورچون (Fortune)، اندازه بازار جهانی اینترنت اشیا از ۵۴۴میلیارد دلار در سال ۲۰۲۲ به بالای ۶۶۲میلیارد دلار در سال ۲۰۲۳ رسیده است. پیش‌بینی می‌شود اندازه این بازار تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۳۳۵۰میلیارد دلار برسد. در میان مناطق مختلف جهان، آسیا و اقیانوسیه سریع‌ترین منطقه در حال رشد در بازار اینترنت اشیا بوده و خاورمیانه و شمال آفریقا دومین بازار بزرگ اینترنت اشیا در جهان را داراست. در آوریل ۲۰۲۳، درآمد بازار اینترنت اشیای آسیا را در بخش‌های مختلفی چون خودرو خودران، اینترنت اشیا صنعتی، سلامت، شهر هوشمند و نظایر آن بررسی کرده و اعلام کرده است که درآمد این بازار از ۱۵۱/۴۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۸ به ۳۳۱/۵۲ میلیارد دلار در سال جاری میلادی رسیده است. خودرو خودران و اینترنت

اشیا صنعتی بیشترین رشد را در این زمینه داشته‌اند. با توسعه شهرهای هوشمند در جهان، کاربردهای اینترنت اشیا در ارائه خدمات شهری همچون کنترل ترافیک، آتش‌نشانی، کنترل بلایای طبیعی و نظایر آن افزایش یافته است.[1] تمامی این موارد از اهیمت بسیار بالای اینترنت اشیاء و نقش آن در آینده حکایت دارد. در این میان موضوع کیفیت خدمات ناشی از اینترنت اشیا میتواند وجه تمایز سازمان های ارائه دهنده این خدمات باشد.

با وجود این فرصت‌ها و ظرفیت‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌ها در حفظ کیفیت بالای خدمات اینترنت اشیا با چالش‌های اساسی مواجه‌اند. به دلیل تنوع زیاد دستگاه‌ها، پروتکل‌ها و شبکه‌ها، دستیابی به قابلیت همکاری و سازگاری یکنواخت دشوارتر است. هنگامی که اتصالات از قابلیت اطمینان کافی برخوردار نباشند، تأخیر، از دست رفتن داده و اختلال در خدمات رخ می‌دهد. همچنین، ارائه‌دهندگان خدمات در معرض نقض امنیت و آسیب به اعتبار خود به‌دلیل ضعف‌های امنیتی و حریم خصوصی قرار دارند. افزون بر این، محدودیت منابع و توان عملیاتی، پاسخ‌گویی و کارایی را با دشواری بیشتری مواجه می‌کند. با افزایش تعداد دستگاه‌های متصل، چالش تضمین کیفیت یکنواخت در کنار مدیریت داده‌های گسترده نیز پیچیده‌تر می‌شود. نبود استانداردهای یکپارچه در حوزه امنیت، حریم خصوصی و قابلیت همکاری، این ریسک‌های سازمانی را بیش از پیش تشدید می‌کند.

خدمات اینترنت اشیا ترکیبی از سخت‌افزار، نرم‌افزار(سامانه) و شبکه هستند و کیفیت خدمات در بستر اینترنت اشیا تابعی از کیفیت وعملکرد سخت افزار، کیفیت و عملکرد نرم افزار(سامانه) وکیفیت و عملکرد شبکه است که که تجمیع این موارد مدل ارزیابی جامع و یکپارچه را ایجاد می‌نماید. در حالی که مدل‌های کیفیت نرم‌افزار بر ویژگی‌هایی همچون کارکردپذیری، قابلیت اطمینان و سهولت استفاده تمرکز دارند، کیفیت خدمات اینترنت اشیا مستلزم نگاهی گسترده‌تر است (کیم، ۲۰۱۶). یک مدل جامع و یکپارچه برای کیفیت باید سازمان‌ها را قادر سازد تا رضایت مشتری را ارتقا دهند، هزینه‌ها را کاهش دهند، عملکرد را بهینه کنند، از محرمانگی داده‌ها محافظت نمایند و نوآوری را تقویت کنند. کیفیت داده، شامل کامل‌بودن، دقت، سازگاری و به‌موقع‌بودن، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و نقشی محوری ایفا می‌کند (لی، ژانگ و ژنگ ۲۰۲۱).

به طور کلی، پرداختن به چالش های کیفیت خدمات در اینترنت اشیا نیازمند یک رویکرد سیستماتیک است که به طور همزمان کلی‌نگر و جزنگر باشد. یک مدل کیفیت یکپارچه می‌تواند به عنوان یک نقشه راه برای طراحی، استقرار و نظارت موثر خدمات اینترنت اشیا عمل کند، این

[1] https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/internet-of-things-iot-market-100307

مدل در دو سطح کیفیت خدمات و ارزیابی عملکرد به بررسی سازمان و سیستم می پردازد. ارزیابی جامع عملکرد سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) مستلزم توجه همزمان به دو بعد کلیدی است: کیفیت خدمات و عملکرد سیستم. این دو جنبه، هرچند مرتبط، اما از نظر ماهیت و روش‌های اندازه‌گیری متفاوت هستند، هر دو ابزار مهمی برای بهبود سازمان هستند، اما تمرکز و اهداف متفاوتی دارند.

کیفیت خدمات به میزان رضایت کاربران از خدمات ارائه شده و تطابق آن با نیازها و انتظارات آن‌ها اشاره دارد. این مفهوم عمدتاً ذهنی[1] بوده و با استفاده از روش‌هایی مانند نظرسنجی، مصاحبه و تحلیل بازخورد کاربران اندازه‌گیری می‌شود. در حالی که ارزیابی عملکرد سیستم به کارایی فنی سیستم، شامل سرعت پاسخگویی، نرخ خطا، پهنای باند مصرفی و کارایی منابع اختصاص‌یافته، اشاره دارد. این مفهوم عمدتاً عینی[2] بوده و با استفاده از شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) و ابزارهای نظارت بر سیستم اندازه‌گیری می‌شود.

جدول ۱- مقایسه ویژگی های ارزیابی کیفیت خدمات و ارزیابی عملکرد

ویژگی	ارزیابی کیفیت خدمات	ارزیابی عملکرد
تمرکز	رضایت مشتری	عملکرد کارکنان
هدف	بهبود ارائه خدمات	بهبود عملکرد فردی و تیمی
روش‌ها	نظرسنجی، فرم‌های بازخورد، مصاحبه	ارزیابی عملکرد، تعیین اهداف، KPI
دیدگاه	بیرونی (مشتری محور)	درونی (کارمند محور)

اگرچه این دو مفهوم متفاوت هستند، اما به هم مرتبط هستند. به عنوان مثال، در یک هتل هوشمند، ارزیابی کیفیت خدمات شامل بررسی رضایت مهمانان از سیستم کنترل هوشمند اتاق‌ها، سیستم رزرواسیون آنلاین و خدمات مبتنی بر مکان است. در مقابل، ارزیابی عملکرد شامل اندازه‌گیری سرعت پاسخگویی حسگرها، پایداری شبکه ارتباطی و کارایی سیستم مدیریت انرژی می‌شود و یا در یک تعمیرگاه خودرو مجهز به فناوری اینترنت اشیا، کیفیت خدمات به میزان رضایت مشتری از خدمات تعمیراتی، دقت تشخیص عیوب و سرعت ارائه خدمات بستگی دارد. عملکرد سیستم نیز

[1] Subjective
[2] Objective

با پارامترهایی مانند سرعت پردازش داده‌های حسگرهای خودرو، دقت پیش‌بینی خرابی‌ها و کارایی سیستم مدیریت تعمیرات سنجیده می‌شود.

کیفیت تجربه[1] ($\boldsymbol{QoE}$) بعد دیگری را به منظور توسعه یک چارچوب یکپارچه فراهم می‌کند. کاربر نهایی با خدمتی تعامل دارد که ممکن است شامل فرایندهای خودکار و زنجیره‌های پیچیده خدمات باشد. در حالی که ارزیابی عملکرد شاخص‌هایی فنی را می‌سنجد، کیفیت تجربه به ادراک و تجربه کاربران از خدمت می‌پردازد. کیفیت تجربه اینترنت اشیا، معیاری است که کیفیت یک خدمت مبتنی بر اینترنت اشیا را از منظر انسان‌ها و ماشین‌ها به‌صورت توأمان در بر می‌گیرد (مینوسکی و همکاران، ۲۰۲۰). برای سازمان‌ها، هم‌راستا ساختن ارزیابی عملکرد و کیفیت تجربه بدین معناست که خدمات اینترنت اشیا نه‌تنها اثربخش باشند، بلکه از دید کاربران نیز کارآمد، قابل‌اعتماد و مفید تلقی شوند.

این پژوهش می‌کوشد چنین مدلی را از طریق مرور نظام‌مند پژوهش‌های پیشین، شناسایی معیارهای ارزیابی مرتبط، اعتبارسنجی آن‌ها از طریق اجماع خبرگان با بهره‌گیری از روش دلفی، و اولویت‌بندی این معیارها بر اساس عوامل کلیدی موفقیت و با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS طراحی کند. چارچوب حاصل، ابزاری دقیق و کاربردی برای سازمان‌ها فراهم می‌آورد تا خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا خود را با استفاده از نظرات و تجربیات قبلی کاربران ارزیابی کنند و اولویت بهبود دهند. پرسش اصلی این پژوهش آن است که: «سازمان‌ها و کسب‌وکارها چگونه می‌توانند مدلی جامع و یکپارچه برای ارزیابی هم‌زمان کیفیت و عملکرد خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا توسعه دهند؟»

۲. پیشینه پژوهش

همانطور که در قسمت های قبل ذکر شد برای مدل‌سازی کیفیت خدمات اینترنت اشیا، عوامل مختلفی کمی و کیفی دخیل خواهند بود، این موضوع در مطالعات انجام شده نیز کاملا مشهود است و مقالات مختلف از جنبه های مختلفی به موضوع کیفیت و عملکرد خدمات نگریسته‌اند. اما تعداد بسیار کمی از مطالعات مدل‌های کیفیت جامعی را برای خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) پیشنهاد کرده‌اند. در یک تلاش ارزشمند هیزم و همکاران با بررسی روند

[1] Quality of experience

پیشرفت فناوری با مدل‌های کیفیت متناسب مطرح شده نظیر E-SERVQUAL و SSERQUAL مدل IoT-SERVQUAL را معرفی کرد که شامل ۴ بعد حریم خصوصی، عملکرد، کارایی و ملموس بودن است.(هیزم و احمد[1]، ۲۰۲۰)

جدول ۲- پارامترهای مدل های کیفیت خدمات ارائه شده (هیزم و احمد، ۲۰۲۰)

IoT-SERVQUAL **هیزم و احمد ۲۰۲۰**	SSQUAL **لین و هیش، ۲۰۱۱**	E-SERVQUAL **پاراسومان و همکاران ۲۰۰۵**	SERVQUAL **پاراسومان و همکاران ۱۹۸۸**
حریم خصوصی	**کارکرد/عملکرد**	**کارایی**	**ملموسات**
کارایی	**لذت بخشی**	**دسترس پذیری سیستم**	**تضمین**
کارکرد/عملکرد	**حریم خصوصی و امنیت**	**انجام تعهدات**	**قابلیت اطمینان**
ملموسات	**تضمین**	**حریم خصوصی**	**همدلی**
	طراحی		**پاسخگویی**
	سهولت		
	سفارشی سازی		

شاوشوای[2] یک مدل ارزیابی مبتنی بر تصمیم گیری چند هدفه[3] (MODM) ارائه کرد که وضعیت منابع و ترجیحات کاربر را در نظر می گیرد (شاوشوای،۲۰۱۱). می کیم[4] یک مدل کیفیت برای خدمات اینترنت اشیا پیشنهاد کرد که شامل فاکتورهای امنیتی از ISO 25000 و ویژگی‌های کیفیت نرم‌افزار سنتی از ISO 9126 است (می کیم، ۲۰۱۶).

الفقاها و همکاران، بر اهمیت ارائه خدمات هوشمند با کیفیت بالا برای رفع نیازهای مشتریان در اینترنت اشیاء تأکید کرد (الفقاها، گوزانی، محمدی، ال ادهاری و عیاش[5]، ۲۰۱۵). واریس و همکاران، معیارهای کیفیت طراحی عملی را برای کمی کردن کیفیت مدل‌های طراحی اینترنت اشیا تحت فاکتورهای کیفیت خدمات ارائه کرد (واریس، جلیل، شعیب و نیگار[6]، ۲۰۲۲). گوانگوی‌هو و ۰همکاران یک مدل جامع ارزش درک شده اینترنت اشیا را برای ارائه عوامل موفقیت برای هماهنگی خدمات اینترنت اشیاء برشمرده است (گوانگوی‌هو، چوهان و لیو[7]، ۲۰۲۰). جیا و همکاران یک روش ارزیابی پویا برای تخمین سطح کیفیت خدمات اینترنت اشیا با در نظر

[1] Hizam &Ahmad
[2] Shaoshuai
[3] Multi-Objective Decision Making
[4] Mi Kim
[5] Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari & Ayyash
[6] Waris, Jaleel, Shoaib & Nigar
[7] Guangwei Hu, Chohan & Liu

گرفتن عوامل متغیر برای شاخص‌های خدمات بهتر پیشنهاد کرد (جیا، هاو، ژانگ و چن[1]، ۲۰۱۸). سوریانگرا و همکاران، چارچوبی برای اندازه گیری کیفیت تجربه[2] (QoE) در رابطه با خدمات اینترنت اشیا بر اساس مقیاس طبقه‌بندی مطلق با مرجع پنهان تدوین کرد (سوریانگرا، پراسیتو و آندریانتو[3]، ۲۰۱۹). کانو و کارو نیز ارزیابی عملکرد خدمات و برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا را با استفاده از معیارهای کیفیت مانند کیفیت داده (QoD)، کیفیت اطلاعات (QoI)، کیفیت تجربه کاربر (QoE) و هزینه کیفیت (QC) پیشنهاد کردند (کانو و کارو، ۲۰۲۱) .علاوه بر این، رزلیند و همکاران، اهمیت ارزیابی کیفیت خدمات برای کمک به کاربران در انتخاب بهترین خدمات اینترنت اشیا و بهبود کیفیت را برجسته کرد (رزلیند،ناوین و یوواراج[4]، ۲۰۲۳).

علاوه بر این، اطمینان از امنیت و قابلیت اطمینان برای کیفیت خدمات اینترنت اشیا بسیار مهم است. حفاظت از داده‌ها و تراکنش‌ها برای کیفیت خدمات موثر در محیط‌های اینترنت اشیا حیاتی است. از طرفی دیگر، معیارهای ارزیابی قابلیت اطمینان برای تضمین کیفیت ارائه خدمات در فرآیندهای ارتباطی اینترنت اشیا ضروری هستند (توماس و بشاری راد، ۲۰۱۷). همچنین، تأثیر آینده اینترنت اشیا بر زندگی ما بر اهمیت در نظر گرفتن یادگیری ماشین در امنیت اینترنت اشیا برای اطمینان از خدمات با کیفیت بالا تأکید دارد.(ظفر، حسین و جنگشر[5]، ۲۰۱۹)

بکارگیری فناوری‌های نوین مانند بلاک چین و یادگیری ماشین و تلفیق آن با اینرنت اشیا برای افزایش کیفیت خدمات، موضوعی است که چسو و همکارانش به آن پرداختند تا با توجه به ماهیت ناهمگن و متنوع سیستم های اینترنت اشیا، دسترسی با کیفیت و بدون تاخیر را برای تمام دستگاه‌های متصل تضمین کنند. (چسو، دیاز، پرز، سلار و مورتن[6]، ۲۰۲۴)

دنگ و لیو یک روش نوین برای کشف خدمات در شبکه‌های پیچیده اینترنت اشیا ارائه کرده‌اند. این مقاله به این موضوع می‌پردازد که چگونه می‌توان با ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی وال و الگوریتم ژنتیک ، فرآیند انتخاب خدمات را با در نظر گرفتن معیارهای کیفیت خدمات (QoS) بهبود بخشید. نوآوری اصلی این تحقیق در ارائه یک راهکار بهینه برای کاهش زمان دسترسی به داده، صرفه‌جویی در انرژی و کاهش هزینه‌ها در سیستم‌های IoT است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش ترکیبی، کارایی بهتری نسبت به رویکردهای سنتی دارد. (دنگ و لیو[7]،

---

[1] Jia, Hao, Zhang & Chen
[2] Quality of Exprience
[3] Suryanegara, Prasetyo & Andriyanto
[4] Roselind, Naveen & Yuvaraj
[5] Zafar, Hussain & Jangsher
[6] CheSuh, Diaz, Perez, Cuellar & Moreton
[7] Liu & Deng

(۲۰۲۴

در جدول زیر برخی از مهم‌ترین مطالعات و تحقیقات صـــورت گرفته مرتبط با موضـــوع پروپوزال جمع آوری شده است:

جدول ۳- جمع بندی مهم تری‌ن مقالات ادبی‌ات موضوع

	نویسندگان	موضوع	نوآوری / روش تحقیق
۱	(هیزم و احمد، ۲۰۲۰)	مقاله مفهومی در مورد چهارچوب مدل سروکوال برای ارزیابی کیفیت خدمات اینترنت اشیا (IoT)	تعریف ابعاد پیشنهادی برای ارزیابی کیفیت خدمات اینترنت اشیا بر اساس مدل های قبلی ارزیابی کیفیت خدمات فناوری اطلاعات شامل سه فاکتور امنیت، قابلیت اطمینان، بهره وری
۲	(می کیم، ۲۰۱۶)	یک مدل کیفیت برای ارزیابی کاربردهای اینترنت اشیا	تعریف مدل کمی بر مبنای چهار فاکتور عملکرد، قابلیت اطمینان، بهره وری، قابل حمل بودن برای ارزیابی کیفیت بکار گیری اینترنت اشیا
۳	(مینوسکی و همکاران، ۲۰۲۰)	تعریف کیفیت تجربه برای اینترنت اشیا	در این مقاله کیفیت اینترنت اشیا، تلفیقی از کیفیت تجربه کاربر و کیفیت تجربه ماشین در نظر گرفته شده و با جدایی کیفیت خدمات ناشی از کاربر و ماشین، به بررسی کیفیت تجربه خدمات اینترنت اشیا پرداخته شده است
۴	کارو و کانو، ۲۰۲۱)	یک رویکرد کل نگر جدید برای ارزیابی عملکرد در اینترنت اشیا	در این مقاله ارزیابی کیفیت سیستم های اینترنت اشیا تلفیقی از چهار معیار کیفیت داده، کیفیت اطلاعات، کیفیت تجربه کاربر و کیفیت هزینه در نظر گرفته شده است و برای ارزیابی شبکه مخابراتی از آن استفاده شده است.
۵	(راوی و همکاران، ۲۰۲۰)[۱]	پذیرش بلاک چین برای امنیت در اینترنت اشیا با توجه به کیفیت خدمات	بررسی امکان استفاده از بلاک چین بعنوان معیار ارزیابی امنیت کیفیت اینترنت اشیا
۶	(مانیوانان و رادهاکریشنان، ۲۰۲۰)	مدل پیشگیرانه در مورد کیفیت خدمات در برنامه های IOT	در مدل پیشگیرانه پیشنهاد می شود مسائل کیفیت خدمات در برنامه های IoT ،سه لایه فیزیکی، سیستم (شبکه) و داده (اطلاعات) را ادغام کنند. هدف اساسی تضمین این است که کاهش ترافیک با پیش نیازهای زمانی کمتر صورت پذیرد تا مشتری نهایی با تعویق کم و با الزامات کیفیت تزلزل ناپذیر، توان عملیاتی بالا و نسبت تحویل بسته بالا را انجام دهد.
۷	(مانیشا، ۲۰۱۸)	کیفیت خدمات در اینترنت اشیا	این پژوهش با در نظر گرفتن این واقعیت که «محاسبات»،

			«ارتباطات» و «اشیاء» سه ستون اصلی اینترنت اشیاء هستند، معیارهای مختلف کیفیت خدمات را شناسایی و توصیف می‌کند.
۸	(منصوری و همکاران، ۲۰۲۳)	مسائل کیفیت داده های اینترنت اشیا و راه حل های بالقوه: مروری بر ادبیات	در این مقاله کیفیت داده به عنوان پارامتر اصلی کیفیت برنامه های مبتنی بر اینترنت اشیا برشمرده شده و برای ارتقای آن استفاده از فناوری بلاک چین پیشنهاد شده است.
۹	(چسو و همکاران، ۲۰۲۴)	بهبود کیفیت خدمات در اینترنت اشیا با استفاده از بلاکچین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین	این مقاله یک رویکرد ترکیبی از بلاکچین و یادگیری ماشین برای بهبود کیفیت خدمات (QoS) در اینترنت اشیا ارائه می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی در محیط NS2 نشان می‌دهد که این روش با کاهش تأخیر و افت بسته و افزایش امنیت، عملکرد شبکه را ارتقا داده و الگوریتم Ensemble بهترین دقت (۸۳.۷۴٪) را در طبقه‌بندی QoS به دست آورده است.
۱۰	(لیو و دنگ، ۲۰۲۴)	یک روش جدید برای کشف خدمات با آگاهی از کیفیت خدمات در اینترنت اشیا با استفاده از بهینه‌سازی وال و الگوریتم ژنتیک	این پژوهش از یک روش ترکیبی استفاده کرده که الگوریتم بهینه‌سازی وال و الگوریتم ژنتیک را با هم ترکیب می‌کند. این روش بهینه‌سازی، برای انتخاب خدمات در IoT که به کیفیت خدمات (QoS) حساس هستند، به کار رفته است. این روش با هدف بهبود معیارهای کلیدی عملکرد مانند زمان دسترسی، مصرف انرژی و هزینه در مقایسه با رویکردهای سنتی طراحی شده است. نتایج نشان می‌دهند که این روش، عملکرد بهتری را ارائه می‌دهد.

در نتیجه، مدل‌سازی کیفیت خدمات اینترنت اشیا نیازمند رویکردی یکپارچه و جامع است که فناوری‌های توانمند، معیارهای کیفیت طراحی، هماهنگ‌سازی خدمات، تخمین پویا سطح خدمات، کیفیت تجربه، ارزیابی عملکرد، امنیت و قابلیت اطمینان را در نظر می‌گیرد. با ادغام این عوامل، می توان یک مدل جامع برای تضمین خدمات اینترنت اشیا با کیفیت بالا ایجاد کرد.

۳. روش پژوهش

پژوهش حاضر با هدف توسعه و اعتبارسنجی یک مدل ذهنی، ویژگی‌محور، صریح و چندبعدی برای سنجش کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) تعریف شده است. برای نیل به این هدف، از یک رویکرد پژوهشی ترکیبی بهره گرفته می‌شود که مزایای روش‌های کیفی و کمی را به منظور ایجاد یک چارچوب یکپارچه و جامع تلفیق می‌کند. فرآیند تحقیق در سه گام

اصـلی اجرا خواهد شـد: نخسـت، از طریق مرور نظام‌مند ادبیات[1] ، معیارهای اولیه ارزیابی کیفیت خدمات و عملکرد در سیسـتم‌های اینترنت اشـیا شـناسـایی می‌شـوند. سـپس، با به‌کارگیری روش دلفی[2] و کسب نظر از پنل متخصصان، این معیارها پالایش، دسته‌بندی و نهایی‌سازی خواهند شد تا از اجماع علمی برخوردار گردند. در مرحله نهایی، معیارها با اسـتفاده از روش تاپسـیس[3]، که یکی از روش های تصـمیم‌گیری چندمعیاره اسـت، و بر اسـاس شـاخص‌های کلیدی موفقیت[4] پروژه‌های اینترنت اشـیا رتبه‌بندی می‌شـوند تا وزن و اهمیت نسـبی هر یک مشـخص گردد. در ادامه، مبانی نظری و مراحل اجرایی روش‌های دلفی و تاپسیس تشریح خواهد شد.

معرفی روش دلفی:

روش دلفی یک روش پژوهشـی سـاختاریافته و تعاملی اسـت که برای دسـتیابی به اجماع میان گروهی از خبرگان در مورد یک موضـوع پیچیده یا عدم‌قطعیت استفاده می‌شـود. این روش به‌طور سیستماتیک از مجموعه‌ای از پرسشنامه‌ها همراه با بازخورد کنترل‌شده از دوره‌ای به دور دیگر بهره میبرد، هدف این روش کاوش و تقلیل طیف وسـیع نظرات ذهنی و شـهودی خبرگان به یک توافق جمعی از طریق یک فرآیند سـاختاریافته و ناشـناس اسـت. این فرآیند با انتخاب دقیق یک پنل از متخصـصـان آغاز می‌شـود که دارای دانش و تجربه عمیق در حوزه مورد بررسـی هسـتند. در گام نخسـت، یک پرسـشـنامه برای اعضـای پنل ارسـال می‌گردد تا دیدگاه‌ها، ایده‌ها و متغیرهای اولیه مرتبط با مسئله تحقیق را بدون هیچ‌گونه محدودیتی جمع‌آوری کند. پس از تحلیل پاسخ‌های دور اول توسـط تیم تحقیق، در گام دوم یک پرسـشـنامه سـاختاریافته‌تر تدوین می‌شـود که در آن از متخصـصـان خواسـته می‌شـود نظرات خود را در مورد موارد اسـتخراج‌شـده، معمولاً بر روی یک مقیاس کمی (مانند لیکرت)، رتبه‌بندی کرده و برای دیدگاه‌های مخالف خود اسـتدلال ارائه دهند. در این تحقیق معیارهای ارزیابی عملکر و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشـیا در دور اول پنل دلفی و اولویت بندی این معیارها (خروجی دور اول) در دور دوم اجرای روش دلفی بررسـی شده‌اند.

معرفی روش تاپسیس:

روش تاپسـیس[5] (TOPSIS) که نخسـتین‌بار توسـط هوانگ و یون در سـال ۱۹۸۱ معرفی شـد، یکی از روش‌های پرکاربرد در حوزه تصـمیم‌گیری چندمعیاره به شـمار می‌رود. اساس این روش بر

---

[1] Systematic Review
[2] Delphi Method
[3] TOPSIS
[4] Critical Success Factor۰۰۰۰
[5] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

این فرض استوار است که بهترین گزینه باید کمترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد. به عبارت دیگر، تاپسیس بر مبنای مقایسه نسبی گزینه‌ها با دو نقطه مرجع (ایده‌آل و ضدایده‌آل) عمل می‌کند و از این طریق امکان رتبه‌بندی گزینه‌ها را فراهم می‌آورد.

فرآیند اجرای روش تاپسیس شامل چند مرحله اصلی است:

تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری که شامل گزینه‌ها و معیارهای ارزیابی است.

نرمال‌سازی داده‌ها به‌منظور هم‌مقیاس‌سازی معیارها و حذف اختلاف واحد اندازه‌گیری.

اعمال اوزان معیارها که اهمیت نسبی هر معیار را در فرآیند تصمیم‌گیری مشخص می‌سازد.

شناسایی راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی؛ راه‌حل ایده‌آل مثبت متشکل از بهترین مقادیر معیارها و راه‌حل ایده‌آل منفی شامل بدترین مقادیر آنهاست.

محاسبه فاصله هر گزینه از راه‌حل‌های ایده‌آل و ضدایده‌آل با استفاده از معیارهای فاصله هندسی.

محاسبه شاخص نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس این شاخص.

از مزایای برجسته این روش می‌توان به سادگی، شفافیت، قابلیت درک بالا و توانایی کاربست آن در مسائل واقعی اشاره کرد.به‌طور کلی، روش تاپسیس ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده و چندمعیاره محسوب می‌شود که ضمن ارائه یک رتبه‌بندی شفاف و منطقی، درک عمیقی از موقعیت نسبی گزینه‌ها نسبت به وضعیت ایده‌آل و ضدایده‌آل به تصمیم‌گیرندگان ارائه می‌دهد.

مراحل انجام کار در این تحقیق:

مطالعه کتاب‌خلنه‌ای: مطالعه حاضر با هدف تدوین چارچوبی برای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) انجام شده است. در این راستا، مرور نظام‌مند منابع کتابخانه‌ای به عنوان نخستین گام روش‌شناسی، به منظور شناسایی و دسته‌بندی معیارهای مرتبط با ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات IoT مورد استفاده قرار گرفت.

برای این منظور، جست‌وجوی جامعی در پایگاه‌های اطلاعاتی علمی معتبر، شبکه‌های اجتماعی دانشگاهی و موتورهای جست‌وجوی علمی با کلیدواژه‌هایی نظیر «معیارهای کیفیت اینترنت اشیا»، «کیفیت خدمات فناوری اطلاعات»، «مدل های ارزیابی عملکرد اینترنت اشیا»، «شاخص های ارزیابی فنی اینترنت اشیا»، «عوامل کلیدی موفقیت پروژهای اینترنت اشیا» و ... انجام شد. نتایج اولیه حاصل از جست‌وجو، بیش از ۵۰ مقاله منتشر شده طی دهه گذشته (۱۰ سال

اخیر) را دربر می‌گرفت. پس از بررسی اولیه، ۲۶ منبع اصلی از میان این مجموعه، بر اساس ارتباط مستقیم و عمق محتوا با موضوع پژوهش، برای مطالعه دقیق‌تر و استخراج معیارهای ارزیابی و نیز انتخاب رویکرد مناسب برای سنجش، انتخاب شدند.

صحت‌سنجی و اعتباریابی: برای انتخاب و تعریف معیارهای مناسب جهت ایجاد مدل ارزیابی، استفاده از نظر خبرگان با کمک روش دلفی در دستور کار قرار گرفت. برای اجرای روش دلفی، ابتدا اعضای پنل براساس تسلط و سابقه کار در حوزه اینترنت اشیا وآشنایی با مدل‌های ارزیابی کیفیت و عملکرد انتخاب شدند.

برای تعیین معیار اجماع موارد مندرج در جدول زیر به عنوان معیارهای اجماع در نظر گرفته شد. بدین صورت برای تائید گزینه مورد نظر و اجماع نخبگان، باید حداقل سه معیار، از چهار معیار زیر اتفاق افتاده باشد:

جدول ۴ – معیارهای اجماع نظرات نخبگان

ردیف	معیار	منبع
۱	میانگین ≤ ۴	Efstathiou, Ameen & coll; Rossouw, Hacker & de Vries, 2011
۲	انحراف معیار ≥ ۱	Efstathiou, Ameen & coll; Rossouw, Hacker & de Vries, 2011
۳	ضریب تغییرات ≥ ۰/۴	Von der Gracht, 2012
۴	امتیاز ۷۰ درصد اعضا ≤	Von der Gracht, 2012

برای تهیه پرسشنامه دور اول دلفی، برمبنای چارچوب ارزیابی اولیه تدوین شده بر اساس مرور پیشینه پژوهش، پرسشنامه آنلاین بکار گرفته شد. پس از انتخاب معیارها و زیرمعیارها، این تعاریف در قالب طیف لیکرت ۵تایی به تیم خبرگان سپرده‌شد تا با روش دلفی، رتبه‌بندی و صحت‌سنجی شوند، برای این موضوع از سامانه پرسشنامه ساز پرسا کمک گرفته شده است. در این مرحله خبرگان نظرات خود را پیرامون تعاریف بکاررفته برای معیارها و تاثیر آن در کیفیت خدمات اینترنت اشیا را نمره‌دهی می‌کردند. پیوند پرسشنامه‌ی تهیه‌ش برای اعضای پنل ارسال شده تا آنها میزان موافقت خود با معیارها و تعاریف مستخرج از مطالعات کتابخانه ای عنوان کنند.

۳. اولویت بندی معیارها:

در دور دوم دلفی، به‌منظور تبدیل متغیرهای کیفی به یک مدل تصمیم‌گیرنده کاربردی،

شـاخص‌های تأییدشـده در مرحله نخسـت بکارگیری روش دلفی، بر مبنای شـاخص‌های کلیدی موفقیت[1] (CSFs) اولویت‌بندی شـدند. به منظور اعتباریابی نهایی و اولویت‌دهی و رتبه‌بندی به معیارهای انتخاب شده بر مبنای شاخص‌های کلیدی موفقیت ، از روش تاپسیس استفاده شده است. برای تولید مدل مطلوب معیارهای ارزیابی را از منظر تاثیر آن‌ها بر شـاخص‌های موفقیت اولویت‌بندی شـده اند تا مدلی جامع و یکپارچه برای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا بدست آید. برای ایجاد ماتریس تصمیم، معیارهای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات در سطرها و شاخص‌های کلیدی در ستون‌ها قرار میگیرند تا معیارها اولویت بندی رتبه‌شوند.

٤. یافته‌های پژوهش

در این بخش، یافته‌های پژوهش در دو مرحله‌ی اصلی پژوهش ارائه می‌شوند. خروجی مرحله نخست شامل معیارهای ارزیابی کیفیت و عملکرد و خروجی مرحله دوم اولویت‌بندی این معیارها بر اساس تاثیر آن‌ها بر شاخص‌های کلیدی موفقیت می‌باشد.

۴-۱. شناسایی معیارها

برای شـناسـایی معیارها، ضـمن مطالعه دقیق پژوهش های صـورت گرفته به تطبیق و یکسان‌سازی تعاریف معیارها نیز پرداخت شد، سپس بیشترین معیارهای تکرار شده بعنوان معیار اصـلی انتخاب شـد و زیرمعیارهای آن نیز به توجه به موضـوع و تاثیر آن در کیفیت خدمات ارائه شده در نظر گرفته شد. در نهایت ۷ معیار اثربخشی، قابلیت اطمینان، کارایی، پشتیبانی، کیفیت داده و اطلاعات، موارد محسوس و امنیت و حریم خصوصی بعنوان معیارهای اصلی ارزیابی جمع‌بندی شد. جدول دو تعاریف این معیارها و زیرمعیارهای مربوطه به همراه مقالاتی که در آن بکار رفته‌اند می‌باشد:

جدول ۵- معی‌ارهای شناسای‌ی شده ارزی‌ابی عملکرد و ک‌ی‌فی‌ت خدمات مبتنی بر ای‌نترنت اشی‌ا بر طبق مطالعات قبلی

کد	معیار اصلی	زیر معیار	توضیح	مقالات مرتبط
۱۰	**اثر بخشی**[2]		هدف از پیاده‌سازی و ارائه خدمات مبتنی‌بر اینترنت اشیا، تحقق اهداف طراحی سیستم (عملکرد[3]) و ارائه خدمت در سازمان مربوط	احمد و هیزم ۲۰۱۹، می کیم ۲۰۱۶

[1] Critical Success Factors
[2] Effectiveness
[3] Functionality

			است.	
۱۱		پاسخ به نیازها[1]	خدمات ارائه شده بر پایه اینترنت اشیا،در صورتی اثربخش خواهد بود که تمام نیازهای مشتریان را که در سیستم های قبل پاسخ داده میشد، را پاسخ دهد	پاراسومان ۲۰۰۵، احمد و هیزم۲۰۱۹، می کیم ۲۰۱۶
۱۲	زیر معیارهای اثربخشی	دقت[2]	یک خدمت موثر ارائه شده مبتنی بر اینترنت اشیا دقیقا مطابق فرمان صادر عمل می‌کند	می کیم ۲۰۱۶ سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۱۳		راحتی استفاده[3]	اگر یک خدمت مبتنی بر اینترنت اشیا میخواهد اثربخش باشد باید برای همه به راحتی قابل استفاده باشد	می کیم ۲۰۱۶ سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۱۴		سرعت ارائه خدمت[4]	کاربران و مشتریان خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا، زمانی آن را موثر میدانند که با سرعت بیشتری نسبت به سایر فناوری ها ارائه خدمت کند.	احمد و هیزم ۲۰۱۹
۲۰	**قابلیت اطمینان[5]**		در خدمات اینترنت اشیا، قابلیت اطمینان به معنای عملکرد مداوم و دقیق دستگاه‌ها و سیستم‌ها، و ارائه خدمات مطابق با وعده‌های داده شده است.	پاراسومان ۱۹۸۸ حمزه‌ای و همکاران ۲۰۲۳، مینوسکی ۲۰۲۰، مانیوانان و راهاکریشنان ۲۰۲۰
۲۱	زیرمعیارهای قابلیت اطمینان	پایایی[6]	توانایی یک سرویس برای انجام صحیح بدون خطا یا خرابی و حفظ سطح خاصی از عملکرد در شرایط متفاوت یک سیستم موید پایایی آن است.	حمزه‌ای و همکاران ۲۰۲۳، مانیوانان و راهاکریشنان ۲۰۲۰، وایت و همکاران ۲۰۱۷
۲۲		تحمل خطا[7]	یک ساختار ارائه دهنده خدمت مبتنی بر اینترنت اشیا در صورتی قابل اطمینان است که در شرایط وقوع خطا و خرابی، راهکار جایگزین ارائه دهد.	مینوسکی ۲۰۲۰، سینق و بارانوال ۲۰۱۸ وایت و همکاران ۲۰۱۷
۲۳		قابلیت همکاری[8]	خدمات اینترنت اشیا با قابلیت اتصال و اضافه شدن به سیستم های قبلی و پذیرش سیستم های جدید بسیار مطمئن تر خواهند بود	مینوسکی ۲۰۲۰، سینق و بارانوال ۲۰۱۸، وایت و همکاران ۲۰۱۷
۲۴		در دسترس بودن[9]	هرچه مدت یا درصد زمانی که یک سرویس اینرنت اشیا در یک بازه	پاراسومان ۲۰۰۵

[1] Fulfilling requirements
[2] Accuracy
[3] Ease of Use
[4] Speed of service delivery
[5] Reliability
[6] Robustness
[7] Fault tolerance
[8] Interoperability
[9] Availability

			زمانی خاص قابل دسترس است بیشتر باشد، قابلیت اطمینان آن بالاتر است.	حمزه‌ای و همکاران ۲۰۲۳، مینوسکی ۲۰۲۰، مانیوانان و راهاکریشنان ۲۰۲۰ سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۲۵		قابلیت بروزرسانی[1]	یک سیستم ارائه‌دهنده خدمات اینترنت اشیا، با امکان بروزرسانی، قابلیت اطمینان بیشتری دارد.	منصوری و همکاران۲۰۲۳ سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۲۶		قابل حمل بودن[2]	یک سیستم ارائه‌دهنده خدمات اینترنت اشیا، با قابلیت جابجایی، نصب در محیط های مختلف و قابلیت استفاده از ابزار مختلف مطمئن تر خواهد بود.	می کیم ۲۰۱۶، وایت و همکاران ۲۰۱۷
۲۷		قابلیت بازیابی[3]	قابلیت بازیابی اطلاعات از دست‌رفته موجب اطمنیان خاطر دریافت‌کنندگان خدمت می‌شود.	منصوری و همکاران۲۰۲۳
۳۰	**کارایی [4]**		کارایی خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا با ارائه عملکرد قابل قبول از نظر هماهنگی، سرعت پاسخگویی و استفاده بهینه از منابع و تجهیزات سنجیده می شود	پاراسومان ۲۰۰۵، احمد و هیزم ۲۰۱۹ ، مینوسکی ۲۰۲۰، سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۳۱	زیرمعیارهای کارایی	مصرف انرژی[5]	مصرف حداقل انرژی باعث می‌شود تا کارایی سرویس های اینترنت اشیا افزایش پیدا کند.	کارو و کانو ۲۰۲۱، می کیم ۲۰۱۶ حمزه ای و همکاران ۲۰۲۳، مینوسکی ۲۰۲۰، مانیوانان و راهاکریشنان ۲۰۲۰
۳۲		زمان انجام خدمت[6]	افزایش سرعت انجام خدمات با استفاده از فناوری اینترنت اشیا با اخذ حداقل اطلاعات موجب افزایش کارایی سرویس می شود.	احمد و هیزم ۲۰۱۹، می کیم ۲۰۱۶، مینوسکی ۲۰۲۰، مانیوانان و راهاکریشنان ۲۰۲۰ سینق و بارانوال ۲۰۱۸

[1] Upgradablity
[2] Portability
[3] Recovery
[4] Efficiency
[5] Energy consumption
[6] Service response time

۳۳		هماهنگی[1]	خدمت اینترنت اشیا زمانی کاراتر خواهد بود که عملکرد لایه ها و اجزای مختلف آن هماهنگ و متناسب باشد.	احمد و هیزم ۲۰۱۹، راوی و همکاران ۲۰۲۰ سینق و بارانوال وایت و همکاران ۲۰۱۷۲۰۱۸
۳۴		ترافیک شبکه[2]	خدمات اینترنت اشیا باید حجم کمی از ترافیک شبکه را به خود اشغال کنند تا مصرف‌کنندگان بیشتری بتوانند از آن استفاده کنند.	کارو و کانو ۲۰۲۱ حمزه ای و همکاران ۲۰۲۳، مینوسکی ۲۰۲۰، مانیوانان و راهاکریشنان ۲۰۲۰
۴۰	**پشتیبانی[3]**		پشتیبانی به معنای سرعت و سهولت در ارائه خدمات، پاسخگویی و حل مشکلات مشتریان سرویس‌گیرنده است	پاراسومان ۱۹۸۸ سینق و بارانوال ۲۰۱۸ وایت و همکاران ۲۰۱۷
۴۱	زیرمعیارهای پشتیبانی	میل به پاسخگویی[4]	سازمان پاسخگو، می‌داند در جهت توسعه خدمات، باید با تمایل و اشتیاق به کمک مشتریان برود	پاراسومان ۱۹۸۸ وایت و همکاران ۲۰۱۷
۴۲		زمان پاسخگویی[5]	هرچه زمان انتظار برای پاسخگویی به نیاز خدمت گیرندگان کمتر باشد، سازمان پاسخگوتر محسوب می‌شود.	وایت و همکاران ۲۰۱۷
۴۳		دقت و صحت پاسخ[6]	پاسخ ها به سرویس‌گیرندگان باید دقیق و صحیح باشد تا کاربران سیستم را پاسخگو بدانند.	سینق و بارانوال ۲۰۱۸ وایت و همکاران ۲۰۱۷
۴۴		مستند سازی[7]	مستندسازی گفت‌وگوها، مشکلات و نیازهای کاربران، به پاسخگویی سرویس‌دهندگان کمک می‌کند.	سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۵۰	**کیفیت داده[8] و اطلاعات**		داده‌های جمع‌آوری شده از دستگاه‌های مختلف، اساس تصمیم‌گیری‌ها و ارائه خدمات اینترنت اشیا هستند. اگر داده‌ها از کیفیت لازم برخوردار نباشند، می‌توانند به نتایج نادرست و تصمیمات اشتباه منجر شوند.	کارو و کانو ۲۰۲۱ مینوسکی ۲۰۲۰، منصوری و همکاران۲۰۲۳
۵۱	زیرمعیارهای	دقت[9]	هرچه داده‌ها به واقعیت نزدیک‌تر باشند و خطای کمتری داشته	کارو و کانو ۲۰۲۱

[1] Coordination
[2] Network traffic
[3] Support
[4] Responsiveness
[5] Support response time
[6] Accuracy and precision of support responses
[7] Documentation
[8] Data Quality
[9] Precision

	کیفیت داده و اطلاعات		باشند، کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا بالاتر می رود.	مینوسکی ۲۰۲۰، منصوری و همکاران۲۰۲۳ سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۵۲		سازگاری[1]	هرچه داده ها با یکدیگر و سایر سیستمها سازگارتر باشند، خدمات باکیفیت تری ارائه می شود. سازگاری به معنای یکسان بودن واحدهای اندازه گیری، فرمت‌ها و ساختار داده‌ها است.	کارو و کانو ۲۰۲۱ مینوسکی ۲۰۲۰، منصوری و همکاران۲۰۲۳
۵۳		یکپارچگی[2]	اگر داده ها در طول فرآیندهای جمع آوری، انتقال و ذخیره سازی دست خورده و تغییر کنند، یکپارچگی آن از بین رفته و موجب کاهش کیفیت خدمات ارائه شده می شود.	کارو و کانو ۲۰۲۱ مینوسکی ۲۰۲۰،
۵۴		به روز بودن [3]	برای دستیابی به عملکرد بهتر و کیفیت بالاتر داده‌ها باید به موقع جمع‌آوری و به‌روزرسانی شوند تا تصمیم‌گیری‌ها بر اساس اطلاعات قدیمی انجام نشود.	کارو و کانو ۲۰۲۱ منصوری و همکاران۲۰۲۳
۶۰	**موارد محسوس[4]**		در زمینه خدمات IoT ، موارد محسوس به ظاهر فیزیکی دستگاه‌ها، پلتفرم‌های نرم‌افزاری، اپلیکیشن‌ها و هرگونه تعامل فیزیکی که مشتری با آن دارد اشاره دارد. این موارد شامل طراحی دستگاه‌ها، رابط کاربری اپلیکیشن‌ها، وب‌سایت شرکت و هرگونه مواد تبلیغاتی است	پاراسومان ۱۹۸۸، احمد و هیزم ۲۰۱۹
۶۱	زیرمعیارهای موارد محسوس	تجهیزات فیزیکی[5]	زیبایی و تناسب طراحی سخت‌افزارها و حسگرهای تجهیزات مورد استفاده در خدمت اینترنت اشیا موجب رضایت کاربران و احساس کیفیت بیشتر میگردد.	احمد و هیزم ۲۰۱۹، مینوسکی ۲۰۲۰، سینق و بارانوال ۲۰۱۸ وایت و همکاران ۲۰۱۷
۶۲		نرم‌افزار و برنامه‌ها[6]	طراحی کاربرپسند[7] برنامه های کاربردی و ارائه نسخه های متناسب با سخت افزارهای مختلف و سیستم عامل های مختلف موجب افزایش رضایت کاربران می گردد	احمد و هیزم ۲۰۱۹ مینوسکی ۲۰۲۰، سینق و بارانوال ۲۰۱۸ وایت و همکاران ۲۰۱۷

[1] Consistency
[2] Integrity
[3] Timeliness
[4] Tangibles
[5] Hardware
[6] software and applications
[7] User Friendly

۶۳		قابلیت شخصی‌سازی[1]	قابلیت شخصی سازی در خدمات به شدت بر احساس رضایت مشتریان از خدمات دریافت شده تاثیر مثبت دارد.	مینوسکی ۲۰۲۰، سینق و بارانوال ۲۰۱۸ سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۷۰	**امنیت و حریم خصوصی[2]**		حفظ امنیت و اطمینان از عدم انتشار داده‌های مشتریان تاثیر به سزایی در رضایت از عملکرد سیستم در ارائه خدمات به کاربران دارد.	پاراسومان ۲۰۰۵، احمد و هیزم ۲۰۱۹ ، می کیم ۲۰۱۶ راوی و همکاران ۲۰۲۰ مانیوانان و راهاکریشنان ۲۰۲۰
۷۱	زیرمعیارهای امنیت و حریم خصوصی	نفوذپذیری[3]	برای ارائه کیفیت بالاتر کاربران باید از امنیت اطلاعات و عدم امکان نفوذ در سیستم اطمینان خاطر داشته باشند	احمد و هیزم ۲۰۱۹، سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۷۲		بازیابی اطلاعات[4]	کاربران زمانی احساس کیفیت بالاتری خواهند داشت که اطمینان داشته باشند امکان بازیابی اطلاعات در سیستم های از کار افتاده وجود نخواهد داشت.	می کیم ۲۰۱۶ سینق و بارانوال ۲۰۱۸
۷۳		رضایت کاربر[5]	اخذ رضایت صریح کاربران برای جمع‌آوری و استفاده از داده‌هایشان منجر به افزایش رضایت مشتری می گردد.	احمد و هیزم ۲۰۱۹
۷۴		حفاظت از داده‌ها[6]	در خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا استفاده از روش‌های رمزنگاری، احراز هویت و کنترل دسترسی برای محافظت از داده‌ها در برابر دسترسی‌های غیرمجاز موجب احساس رضایت بیشتر کاربران خواهد بود.	احمد و هیزم ۲۰۱۹، راوی و همکاران ۲۰۲۰

نتایج دور اول دلفی که مؤید موافقت گروه خبرگان با تمامی معیارها و زیرمعیارهای مربوطه بر اساس معیارهای اجماع می‌باشد در جدول زیر ارائه شده است، موارد قرمز رنگ به معنای عدول از معیارهای اجماع نخبگان است:

[1] Customization capability
[2] Security and Privacy
[3] Vulnerability
[4] Data Recovery
[5] User Consent
[6] Data Protection

جدول ۶- نتایج دور اول پنل دلفی در خصوص معیارهای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا

کد	معیار و زیرمعیار	میانگین	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۱۰	اثربخشی	۴.۱۴۳	۰.۵۲۹	۰.۷۲۷	۰.۱۷۵
۱۱	پاسخ به نیازها	۴.۲۳۸	۰.۳۹	۰.۶۲۵	۰.۱۴۷
۱۲	دقت	۴.۰	۰.۶	۰.۷۷۵	۰.۱۹۴
۱۳	راحتی استفاده	۴.۴۲۹	۰.۵۵۷	۰.۷۴۶	۰.۱۶۹
۱۴	سرعت ارائه خدمات	۴.۴۲۹	۰.۶۵۷	۰.۸۱۱	۰.۱۸۳
۲۰	قابلیت اطمینان	۴.۴۲۹	۰.۵۵۷	۰.۷۴۶	۰.۱۶۹
۲۱	پایایی	۴.۵۲۴	۰.۴۶۲	۰.۶۸	۰.۱۵
۲۲	تحمل خطا	۴.۲۳۸	۰.۶۹	۰.۸۳۱	۰.۱۹۶
۲۳	قابلیت همکاری	۴.۲۸۶	۰.۶۱۴	۰.۷۸۴	۰.۱۸۳
۲۴	در دسترس بودن	۴.۳۳۳	۰.۴۳۳	۰.۶۵۸	۰.۱۵۲
۲۵	قابلیت بروزرسانی	۴.۲۸۶	۱.۰۱۴	۱.۰۰۷	۰.۲۳۵
۲۶	قابل حمل بودن	۴.۱۴۳	۱.۱۲۹	۱.۰۶۲	۰.۲۵۶
۲۷	قابلیت بازیابی	۴.۳۳۳	۰.۴۳۳	۰.۶۵۸	۰.۱۵۲
۳۰	کارایی	۴.۴۲۹	۰.۲۵۷	۰.۵۰۷	۰.۱۱۵
۳۱	مصرف انرژی	۴.۲۸۶	۰.۶۱۴	۰.۷۸۴	۰.۱۸۳
۳۲	زمان انجام خدمت	۴.۵۷۱	۰.۳۵۷	۰.۵۹۸	۰.۱۳۱
۳۳	هماهنگی	۴.۶۱۹	۰.۲۴۸	۰.۴۹۸	۰.۱۰۸
۳۴	ترافیک شبکه	۴.۶۱۹	۰.۳۴۸	۰.۵۹	۰.۱۲۸
۴۰	پشتیبانی	۴.۵۷۱	۰.۲۵۷	۰.۵۰۷	۰.۱۱۱
۴۱	میل به پاسخگویی	۴.۶۶۷	۰.۲۳۳	۰.۴۸۳	۰.۱۰۴
۴۲	زمان پاسخگویی	۴.۴۲۹	۰.۶۵۷	۰.۸۱۱	۰.۱۸۳
۴۳	دقت و صحت پاسخ	۴.۵۷۱	۰.۳۵۷	۰.۵۹۸	۰.۱۳۱
۴۴	مستندسازی	۴.۵۷۱	۰.۳۵۷	۰.۵۹۸	۰.۱۳۱
۵۰	کیفیت داده و اطلاعات	۴.۶۱۹	۰.۳۴۸	۰.۵۹	۰.۱۲۸
۵۱	دقت	۴.۵۲۴	۰.۳۶۲	۰.۶۰۲	۰.۱۳۳
۵۲	سازگاری	۴.۳۸۱	۰.۴۴۸	۰.۶۶۹	۰.۱۵۳
۵۳	یکپارچگی	۴.۴۲۹	۰.۴۵۷	۰.۶۷۶	۰.۱۵۳

۵۴	به روز بودن	۴.۵۲۴	۰.۲۶۲	۰.۵۱۲	۰.۱۱۳
۶۰	موارد محسوس	۴.۳۸۱	۰.۴۴۸	۰.۶۶۹	۰.۱۵۳
۶۱	تجهیزات فیزیکی	۴.۱۹	۰.۶۶۲	۰.۸۱۴	۰.۱۹۴
۶۲	نرم‌افزار و برنامه‌ها	۴.۶۶۷	۰.۲۳۳	۰.۴۸۳	۰.۱۰۴
۶۳	قابلیت شخصی سازی	۴.۴۲۹	۰.۵۵۷	۰.۷۴۶	۰.۱۶۹
۷۰	امنیت و حریم خصوصی	۴.۸۵۷	۰.۱۲۹	۰.۳۵۹	۰.۰۷۴
۷۱	نفوذپذیری	۴.۷۱۴	۰.۵۱۴	۰.۷۱۷	۰.۱۵۲
۷۲	بازیابی اطلاعات	۴.۲۳۸	۱.۱۹	۱.۰۹۱	۰.۲۵۷
۷۳	رضایت کاربر	۴.۵۷۱	۰.۳۵۷	۰.۵۹۸	۰.۱۳۱
۷۴	حفاظت از داده ها	۴.۶۱۹	۰.۳۴۸	۰.۵۹	۰.۱۲۸

گروه خبرگان ضمن پذیرش ۷ معیار اصلی که در مجموع ۳۰ معیار فرعی نیز داشتند، ۷ زیرمعیار تکمیلی نیز پیشنهاد داده‌اند که در دور دوم دلفی این موارد بررسی و ۵ مورد آن به تائید خبرگان رسید. جدول زیر، منعکس کننده زیرمعیارهای تکمیلی در دور دوم دلفی می باشد، موارد قرمز رنگ به معنای عدول از معیارهای اجماع نخبگان است:

جدول ۷- معیارهای تکمیلی ارزیابی مستخرج از دور اول پنل دلفی

کد	معیار اصلی	زیرمعیار	تعریف	میانگین	واریانس	انحراف معیار
۱۵	اثربخشی	مقیاس‌پذیری[1]	در اثر بخشی یک سیستم ارائه دهنده خدمات اینترنت اشیا، مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری نقش تعیین کننده‌ای دارد.	۴.۱۸۲	۰.۶۲۲	۰.۷۸۹
۲۸	قابلیت اطمینان	میانگین زمان تعمیر[2]	هرچه میانگین مدت زمان تعمیر یک سیستم ارائه دهنده خدمات اینترنت اشیا کوتاه‌تر باشد، قابلیت اطمینان بیشتری دارد.	۴.۲۷۳	۰.۶۲۲	۰.۷۸۹
۴۵	پشتیبانی	پاسخگویی	هرچه توانان کارشناسان به	۴.۱۸۲	۰.۵۴۴	۰.۷۳۸

[1] Scalability
[2] Mean Time to Repair

		ساده[1]	پاسخگویی ساده به مراجعان با اطلاعات کم بیشتر باشد، سازمان ارائه‌دهنده خدمت پشتیبانی قوی‌تری دارد.			
۵۵	کیفیت داده و اطلاعات	صحت داده‌ها[2]	صحت داده‌ها به معنای تطبیق داده با واقعیت و نمایش آن به صورت صحیح، موجب افزایش کیفیت خدمات ارائه بر مبنای اینترنت اشیا می‌گردد.	۴.۳۶۴	۰.۲۳۳	۰.۴۸۳
۶۴	موارد محسوس	نصب آسان[3]	هرچه نصب تجهیزات و سیستم های ارائه دهنده خدمات آسان تر باشد، مصرف کنندگان احساس رضایت بیشتر از عملکرد سیستم خواهند داشت.	۴.۴۰۰	۰.۲۶۷	۰.۵۱۶
۸۱	سایر	معرفی مصرف کنندگان	معرفی مصرف‌کنندگان یک سیستم اینترنت اشیا به دیگران میتواند نشان دهنده کیفیت آن باشد.	۳.۶۳۶	۱.۳۴۴	۱.۱۶۰
۸۲	سایر	توسعه بر مبنای نظرات کاربران	هرچقدر نسخه های جدیدتر سرویس، بر مبنای نظرات کاربران توسعه یافته باشد، عملکرد بهتر و کیفیت بالاتری خواهد داشت.	۳.۷۲۷	۱.۵۱۱	۱.۲۲۹

بدین ترتیب معیارهای مدل ارزیابی کیفیت و عملکرد خدمات مبتنی بر اینترنت اشـــیا تکمیل شده و به شرح زیر ارائه می شود:

جدول ۸- معی‌ارهای اصلی و زی‌رمعی‌ارهای فرعی ارزی‌ابی عملکرد و کی‌فی‌ت خدمات

ردیف	معیار	زیر معیار	ردیف	معیار	زیر معیار

[1] Simple Responsiveness
[2] Data accuracy
[3] Easy installation

۱	اثربخشی	پاسخ به نیازها	۴	پشتیبانی	میل به پاسخگویی
		دقت			زمان پاسخگویی
		راحتی استفاده			دقت و صحت پاسخ
		سرعت ارائه خدمات			مستندسازی
		مقیاس‌پذیری			پاسخگویی ساده
۲	قابلیت اطمینان	پایایی	۵	کیفیت داده و اطلاعات	دقت
		تحمل خطا			سازگاری
		قابلیت همکاری			یکپارچگی
		در دسترس بودن			به روز بودن
		قابلیت بروزرسانی			صحت داده ها
		قابل حمل بودن	۶	موارد محسوس	تجهیزات فیزیکی
		قابلیت بازیابی			نرم‌افزار و برنامه‌ها
		میانگین زمان تعمیر			قابلیت شخصی سازی
۳	کارایی	مصرف انرژی			نصب آسان
		زمان انجام خدمت	۷	امنیت و حریم خصوصی	نفوذپذیری
		هماهنگی			بازیابی اطلاعات
		ترافیک شبکه			رضایت کاربر
					حفاظت از داده ها

۴-۲. اولویت بندی معیارها

پس از شـــناســـایی و پالایش معیارهای ارزیابی و زیرمعیارهای مرتبط با آن‌ها، گام بعدی اولویت‌بندی و رتبه‌بندی آن‌ها در چارچوبی سـازمانی، به‌ویژه برای شـرکت‌ها و مؤسـسـاتی بود که خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا ارائه می‌دهند. منطق این مرحله آن بود که اگرچه بسیاری از مطالعات بر کیفیت اینترنت اشیا در سطح فنی سامانه تمرکز دارند، سازمان‌ها و شرکت‌هایی که این خدمات را عرضه می‌کنند با پیچیدگی بیشتری مواجه‌اند؛ زیرا باید اطمینان یابند که در کنار افزایش رضایت مشتری، منابع نیز به مهم‌ترین حوزه‌هایی اختصاص یابد که به‌طور مستقیم بر پروژه‌ها اثر می‌گذارند. ازاین‌رو، اولویت‌بندی این معیارها بر اســـاس عوامل کلیدی موفقیت[1] انجام شـــد؛ عواملی که در پژوهش‌های پیشـین به‌عنوان تعیین‌کننده‌های اسـاسـی در اسـتقرار و مدیریت مؤثر خدمات اینترنت

[1] Critical Success Factors (CSFs)

اشیا به‌طور گسترده شناخته شده‌اند.

برای عملیاتی‌سازی این فرایند، آخرین معیارهای اصلی به‌دست‌آمده از مراحل پیشین برای ارزیابی اهمیت نسبی هر معیار در ارتباط با عوامل کلیدی موفقیت شناسایی‌شده به کار گرفته شد. دیدگاه‌های خبرگان به یک ماتریس تصمیم ساخت‌یافته تبدیل شد که مبنای اعمال روش تاپسیس قرار گرفت. از طریق نرمال‌سازی، وزن‌دهی بر پایه میزان ارتباط با عوامل کلیدی موفقیت، و محاسبه فاصله‌ها از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، برای هر معیار ارزیابی یک ضریب نزدیکی به‌دست آمد. این رویکرد نظام‌مند، فهرستی از معیارها را بر حسب میزان اهمیت فراهم ساخت و به سازمان‌ها طرحی روشن برای اولویت‌بندی ارائه داد.

ارزش افزوده این مرحله در جهت‌گیری کاربردی آن نهفته است؛ زیرا به سازمان‌ها کمک می‌کند تشخیص دهند کدام ابعاد ارزیابی، در صورت تأکید، بیشترین احتمال را برای ایجاد بهبودهای سریع، پایدار و ماندگار در رضایت مشتری، کارایی عملیاتی و موفقیت کلی پروژه دارند. به بیان دیگر، این مرحله ابعاد مبهم کیفیت را به اولویت‌هایی روشن تبدیل می‌کند که تصمیم‌گیرندگان را در تمرکز بر مهم‌ترین بخش‌های ارائه خدمات اینترنت اشیا یاری می‌دهد. عوامل کلیدی موفقیت مرتبط با خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا که از طریق مرور ادبیات و بازخورد خبرگان اعتبارسنجی شده‌اند، در جدول زیر ارائه شده‌اند و مبنای این فرایند اولویت‌بندی را تشکیل می‌دهند.

جدول- ۹- شاخص‌های کلیدی موفقیت خدمات اینترنت اشیا برای اولویت بندی معیارهای ارزیابی

ردیف	شاخص	تعریف	منبع
۱	نیروی انسانی	تمرکز بر کیفیت خدمات اینترنت اشیا، موجب افزایش رضایت نیروی انسانی می‌شود.	حکیم و همکاران ۲۰۲۲، مهنتی و همکاران ۲۰۲۲،
۲	بازاریابی و تبلیغات	برای موفقیت در بازاریابی و تبلیغات، توجه ویژه به کیفیت خدمات اینترنت اشیا، راهگشاست.	حکیم و همکاران ۲۰۲۲،
۳	دانش فنی و تکنولوژی	اولویت دهی به ارائه خدمات با کیفیت، منجر به بهبود دانش فنی و تکنولوژی می‌شود.	حکیم و همکاران ۲۰۲۲،
۴	قوانین و مقررات	اولویت‌دهی به کیفیت خدمات باعث رعایت بهتر	حکیم و همکاران

		قوانین و مقررات می‌شود و از بروز چالش‌های حقوقی برای سازمان جلوگیری می‌کند	۲۰۲۲، دیو و همکاران ۲۰۲۵،
۵	منابع مالی	تمرکز بر کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا، موجب استفاده بهیه از منابع مالی شرکت/سازمان می‌گردد.	حکیم و همکاران ۲۰۲۲، دیو و همکاران ۲۰۲۵،
۶	رضایت مشتری	در نهایت، تمرکز بر کیفیت خدمات بیشترین سهم را در کسب رضایت مشتری دارد.	مهنتی و همکاران ۲۰۲۲، دیو و همکاران ۲۰۲۵،

در این مرحله، پرسشنامه خبرگان با استفاده از روش دلفی و طیف لیکرت ۵ تایی، برای تعیین تاثیر معیارهای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات بر شاخص‌های حیاتی موفقیت تنظیم شد تا پس از اجماع نظرات خبرگان، به روش تاپسیس اولویت‌بندی معیارها مشخص گردد. برای اولویت‌بندی به روش تاپسیس ابتدا ماتریس تصمیم حاصل از نظرات خبرگان را تشکیل داده و سپس آن را ابتدا بی‌مقیاس و سپس بی‌مقیاس‌وزن‌دار می‌کنیم و اولویت های ایده‌آل و ضد ایده‌آل را نیز پیدا میکنیم.

جدول- ۱۰-میانگین نمرات خبرگان (ماتریس تصمیم)

	نیروی انسانی	بازاریابی و تبلیغات	دانش‌فنی و تکنولوژی	قوانین و مقررات	منابع مالی	رضایت مشتری
اثربخشی	۴.۰	۴.۵	۳.۹	۳.۸	۴.۱	۴.۰
قابلیت اطمینان	۴.۳	۴.۳	۴.۴	۴.۴	۴.۴	۴.۲
کارایی	۴.۲	۴.۳	۴.۴	۳.۲	۴.۲	۴.۲
پشتیبانی	۴.۱	۴.۰	۳.۵	۴.۱	۳.۸	۴.۳
کیفیت‌داده و اطلاعات	۳.۹	۳.۷	۴.۲	۳.۹	۴.۶	۴.۱
موارد محسوس	۳.۸	۴.۴	۳.۹	۳.۸	۳.۹	۴.۲

حریم خصوصی و امنیت	۴.۵	۴.۳	۴.۰	۴.۵	۳.۶	۴.۱

جدول ۱۱- تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون

	نیروی انسانی	بازاریابی و تبلیغات	دانش‌فنی و تکنولوژی	قوانین و مقررات	منابع مالی	رضایت مشتری
اثربخشی	۰.۱۳۸۹	۰.۱۵۲۵	۰.۱۳۷۸	۰.۱۳۷۲	۰.۱۴۳۴	۰.۱۳۷۵
قابلیت اطمینان	۰.۱۴۹۳	۰.۱۴۵۸	۰.۱۵۵۵	۰.۱۵۸۸	۰.۱۵۳۸	۰.۱۴۴۳
کارایی	۰.۱۴۵۸	۰.۱۴۵۸	۰.۱۵۵۵	۰.۱۱۵۵	۰.۱۴۶۹	۰.۱۴۴۳
پشتیبانی	۰.۱۴۲۴	۰.۱۳۵۶	۰.۱۲۳۷	۰.۱۴۸۰	۰.۱۳۲۹	۰.۱۴۷۸
کیفیت‌داده و اطلاعات	۰.۱۳۵۴	۰.۱۲۵۴	۰.۱۴۸۴	۰.۱۴۰۸	۰.۱۶۰۸	۰.۱۴۰۹
موارد محسوس	۰.۱۳۱۹	۰.۱۴۹۲	۰.۱۳۷۸	۰.۱۳۷۲	۰.۱۳۶۴	۰.۱۴۴۳
حریم خصوصی و امنیت	۰.۱۵۶۳	۰.۱۴۵۸	۰.۱۴۱۳	۰.۱۶۲۵	۰.۱۲۵۹	۰.۱۴۰۹

در جدول ۱۲ موارد سبز رنگ اولویت‌های ایده‌آل و موارد قرمز رنگ موارد ضد ایده آل هستند.

جدول ۱۲-گزینه‌های ایده آل و ضد ایده‌آل و محاسبه شاخص نزدیکی نسبی

	نیروی انسانی	بازاریابی	دانش‌فنی	قوانین	منابع مالی	رضایت مشتری	S_i+	S_i-	C_i
اثربخشی	۰.۰۳۶۶	۰.۰۵۰۶	۰.۰۶۷۶	۰.۱۳۰۱	۰.۰۸۰۳	۰.۰۰۵۹	۰.۰۲۷۷	۰.۰۳۳۴	۰.۵۴۷۲
قابلیت اطمینان	۰.۰۳۹۴	۰.۰۴۸۴	۰.۰۷۶۳	۰.۱۵۰۶	۰.۰۸۶۱	۰.۰۰۶۲	۰.۰۰۶۰	۰.۰۴۷۱	۰.۸۸۷۸
کارایی	۰.۰۳۸۵	۰.۰۴۸۴	۰.۰۷۶۳	۰.۱۰۹۵	۰.۰۸۲۲۰۰	۰.۰۰۶۲	۰.۰۴۵۳	۰.۰۴۴۵	۰.۴۹۵۲

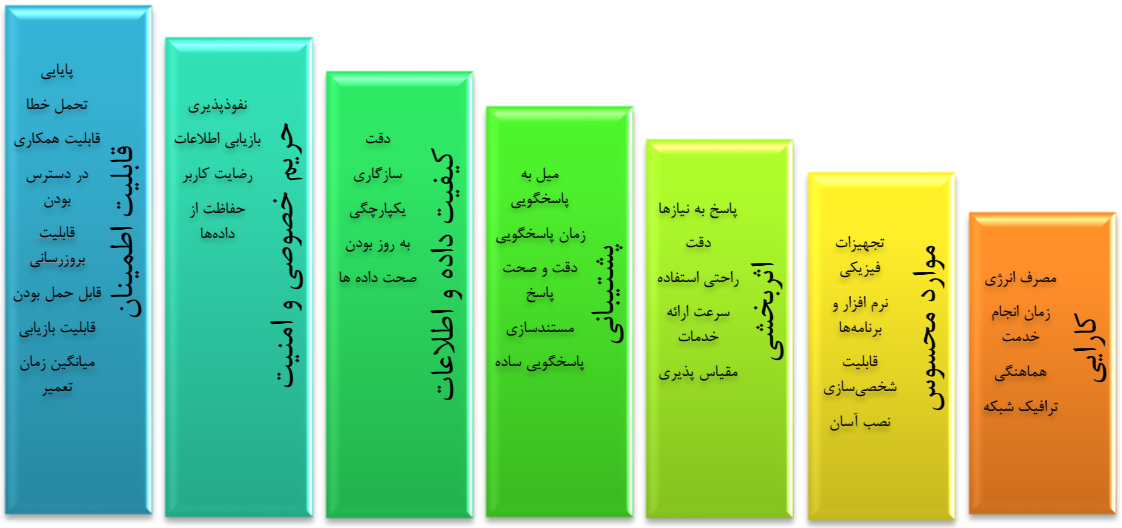
پشتیبانی	۰.۰۳۷۵	۰.۰۴۵۰	۰.۰۶۰۷	۰.۱۴۰۳	۰.۰۷۴۴	۰.۰۰۶۳	۰.۰۲۶۹	۰.۰۳۷۶	۰.۵۸۳۲
کیفیت داده	۰.۰۳۵۷	۰.۰۴۱۶	۰.۰۷۲۸	۰.۱۳۳۵	۰.۰۹۰۱	۰.۰۰۶۰	۰.۰۲۳۳	۰.۰۳۷۵	۰.۶۱۶۴
موارد محسوس	۰.۰۳۴۸	۰.۰۴۹۵	۰.۰۶۷۶	۰.۱۳۰۱	۰.۰۷۶۴	۰.۰۰۶۲	۰.۰۲۹۷	۰.۰۳۳۶	۰.۵۳۱۱
حریم خصوصی	۰.۰۴۱۲	۰.۰۴۸۴	۰.۰۶۹۳	۰.۱۵۴۰	۰.۰۷۰۵	۰.۰۰۶۰	۰.۰۲۰۹	۰.۰۴۸۲	۰.۶۹۷۶

۳-۴. نتایج نهایی

شاخص نزدیکی نسبی (Ci)در روش تاپسیس نشان می‌دهد که هر معیار تا چه اندازه به راه‌حل ایده‌آل نزدیک و از راه‌حل نامطلوب دور است. همان‌گونه که در قسمت قبل نشان داده شده است، بالاترین رتبه و مهم‌ترین معیار، قابلیت اطمینان $(Ci = 0.8878)$ است و پس از آن، حریم خصوصی و امنیت $(Ci = 0.6976)$ و کیفیت داده و اطلاعات $(Ci = 0.6164)$ قرار دارند. این سه معیار به‌عنوان حیاتی‌ترین ابعاد در ارزیابی کیفیت و عملکرد خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا شناسایی شدند. در مقابل، کارایی $(Ci = 0.4952)$در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت؛ بدین معنا که هرچند این مؤلفه مهم است، اما در مقایسه با قابلیت اطمینان، امنیت و کیفیت داده، نقش کمتری در موفقیت پیاده‌سازی خدمات اینترنت اشیا در کسب‌وکارها، سازمان‌ها و شرکت‌ها دارد. بر اساس روش TOPSIS، رتبه‌بندی نهایی معیارهای ارزیابی کیفیت و عملکرد خدمات اینترنت اشیا نسبت به عوامل کلیدی موفقیت به شرح زیر است:

۱. قابلیت اطمینان
۲. حریم خصوصی و امنیت
۳. کیفیت داده و اطلاعات
۴. پشتیبانی
۵. اثربخشی
۶. موارد محسوس
۷. کارایی

این رتبه‌بندی، به‌همراه زیرمعیارهای هر معیار، مدل نهایی موردنظر ما را شکل می‌دهد؛ مدلی که چارچوبی برای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا فراهم می‌سازد، همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل یکپارچه ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا

۵. بحث و نتیجه‌گیری:

در این پژوهش به دنبال طراحی مدل یکپارچه ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا بوده‌ایم، این مدل باید طوری طراحی میشد که بتواند معیارهای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات را به صورت جامع و سیستماتیک ببیند و بتواند آن‌ها را اولویت‌بندی کند. یکی از اقدامات کلیدی صورت گرفته در این پژوهش اولویت‌بندی معیارهای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات بر مبنای شاخص‌های کلیدی موفقیت در استقرار کامل فناوری اینترنت اشیاء و ارائه خدمات مبتنی بر آن است. نوآوری این پژوهش در چند بعد قابل تبیین است:

ترکیب همزمان دو بعد کیفیت خدمات و عملکرد: بیشتر مطالعات گذشته بر یک بعد (یا فنی یا خدماتی) تمرکز داشته‌اند. این تحقیق مدلی را ارائه می‌دهد که هر دو بعد را به‌صورت یکپارچه مد نظر قرار داده است.

استفاده ترکیبی از روش‌های دلفی و تاپسیس: در حالی که برخی تحقیقات صرفاً بر

مرور ادبیات یا پرسشنامه اکتفا کرده‌اند، این پژوهش با به‌کارگیری روش دلفی اجماع خبرگان را تضمین کرده و سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس اولویت‌بندی معیارها را بر اساس شاخص‌های کلیدی موفقیت انجام داده است. این رویکرد دو مرحله‌ای موجب افزایش اعتبار علمی و کاربردی مدل شده است.

شناسایی و اعتبارسنجی معیارها اختصاصی اینترنت اشیا: این مطالعه با ترکیب منابع بین‌المللی و نظر خبرگان داخلی، مجموعه‌ای از ۷ معیار اصلی و ۳۵ زیرمعیار ارائه کرده که متناسب با چالش‌های خاص خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا است.

خروجی عملیاتی برای سازمان‌ها: مدل پیشنهادی صرفاً مفهومی نیست، بلکه قابلیت استفاده به‌عنوان ابزاری برای مدیران سازمان‌ها و شرکت‌های فعال در حوزه IoT را دارد تا بتوانند نقاط قوت و ضعف خدمات خود را شناسایی و اقدامات اصلاحی انجام دهند.

ارائه یک چارچوب جامع برای این اولویت‌بندی مستلزم تعیین شاخص‌های کلیدی موفقیت است که در این پژوهش مبتنی بر پژوهش‌های پیشین صورت گرفت. در این مسیر ابتدا با مرور ادبیات موضوع و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه به شناسایی وجمع‌آوری معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی مربوط پرداختیم و در نهایت برمبنای نظر خبرگان طی دو مرحله بکارگیری روش دلفی، هفت معیار اصلی را با ۳۵ زیرمعیار فرعی شناسایی کردیم.

در مرحله بعد بر مبنای نظرات خبرگان و تاثیر معیارهای اصلی بر شاخص‌های حیاتی موفقیت معیارهای را اولویت بندی کرده ایم. در نهایت معیارهای مدل جامع ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات را به این ترتیب معرفی می‌کنیم:

قابلیت اطمینان
حریم خصوصی و امنیت
کیفیت داده و اطلاعات
پشتیبانی
اثربخشی
موارد محسوس
کارایی

یافته‌های تحقیق نشان داد که معیارهای قابلیت اطمینان، امنیت و حریم خصوصی، و کیفیت داده‌ها مهم‌ترین عوامل در ارزیابی کیفیت خدمات و عملکرد IoT هستند. این نتیجه هم‌راستا با مطالعاتی نظیر (می کیم، ۲۰۱۶) است که قابلیت اطمینان را مهم ترین معیار کیفیت برنامه های کاربردی اینترنت اشیا توصیف میکند، همچنین (کارو و کانو ۲۰۲۱) و (منصوری ۲۰۲۳) کیفیت

داده و اطلاعات را پایه کیفیت اینترنت اشـــیا تلقی می کنند و آن را مهم ترین عامل در موفقیت پروژه های IoT می دانند. این موضوع را میتوان ناشی از نوپدید بودن فناوری اینترنت اشیا دانست که کاربران نیاز داردن با توجه به عدم سابقه طولانی در استفاده از این فناوری، با خیالت راحت و دقت بالا از این فناوری اســتفاده کننده و مطئمن باشــند می‌توانند در هر زمانی روی این فناوری و قابلیت‌های آن حساب بازکنند و با مشکلی که انتظار آن را ندارد مواجه نشوند. با این حال، پژوهش حاضر علاوه بر تأیید این نتایج، معیارهایی همچون پشتیبانی، اثربخشی، کارایی و موارد محسوس را نیز به‌عنوان ابعاد مکمل معرفی کرده و بدین ترتیب مدلی جامع‌تر نسبت به تحقیقات گذشته ارائه داده است.

مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که توجه صرف به شاخص‌های فنی (مانند سرعت پاسخگویی یا پایداری شبکه) کافی نیست و عوامل نرم‌تری مانند قابلیت اطمینان، سهولت استفاده و پشتیبانی نقشــی حیاتی در کیفیت خدمات دارند. به عبارت دیگر، کیفیت خدمات در IoT یک مفهوم چندوجهی اســت که نیازمند هم‌زمانی معیارهای عینی و ذهنی می‌باشــد. نتایج رتبه‌بندی به روش TOPSIS نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان فنی (Reliability)، امنیت و حریم شخصی (Security & Privacy)، و کیفیت داده و اطلاعات (DataQuality) مهم‌ترین محرک‌های موفقیت خدمات اینترنت اشیا در ارزیابی مبتنی بر عوامل کلیدی موفقیت سازمانی هستند. این سه بعد نشان می‌دهند که چرا ســازمان‌ها باید توجه و منابع اصــلی خود را بر تضــمین عملکرد پایدار، ایمن و دقیق ســامانه‌های اینترنت اشیا متمرکز کنند. به بیان دیگر، این نتایج نشان می‌دهد که کاربران هنوز به استفاده مستمر از خدمات اینترنت اشــیا کاملاً اطمینان ندارند و نگرانی‌های جدی درباره این فناوری وجود دارد. پایین بودن رتبه شــاخص کارایی (Efficiency) را شــاید بتوان اینطور توجیه کرد که کارا بودن حداقل انتظار کاربران از خدمات اینترنت اشیا است و اگر این قابلیت وجود نداشته باشد کاربران از خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا استفاده نخواهند کرد به بیان دیگر، ارزیابی کیفیت و مقایسه آن بین ســیســتم‌های کارا معنی دارد و در صــورت عدم کارایی ســیســتم، وارد مرحله ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات نخواهیم شد.

از منظر کاربردی، این مدل می‌تواند توسـط سـازمان‌ها و ارائه‌دهندگان خدمات مبتنی بر IoT برای شناسایی نقاط قوت و ضعف خدمات، تخصیص بهینه منابع انسانی و مالی، کاهش ریسک‌های امنیتی و نقض حریم خصوصی ، بهبود تجربه مشتریان و افزایش پذیرش فناوری مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه، طراحی مدل را به صــورت یکپارچه و جامع درنظر گرفته ایم، برای مطالعات بعدی، میتوان پیاده‌سـازی این مدل را در یک سـازمان/شـرکت خاص اجرایی کرد و یا آن را برای حیطه‌های مختلف اینترنت اشـیا مانند سـلامت هوشـمند، شـهر هوشـمند و یا حمل و نقل هوشـمند

سفارشی سازی نمود. همچنین مقایسه مدل پیشنهادی با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مانند ANP یا VIKOR) برای اعتبارسنجی نتایج و توسعه مدل با در نظر گرفتن فناوری‌های مکمل IoT مانند هوش مصنوعی، بلاک‌چین و کلان‌داده‌ها می‌تواند در دستور کار محققان این حوزه قرار گیرد.

در مجموع، پژوهش حاضر با طراحی و ارائه یک مدل یکپارچه برای ارزیابی عملکرد و کیفیت خدمات مبتنی بر اینترنت اشیا، گامی مؤثر در پر کردن خلأ موجود در ادبیات و همچنین ارائه ابزاری عملی برای بهبود مدیریت خدمات IoT برداشته است.

منابع:

Ahmad, T., & Hizam, S. M. (2019). Service quality assessment in IoT-based systems: An integrated framework. Journal of Service Management, 30(2), 145–162. https://doi.org/10.1108/JOSM-2018-0320

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347–2376. https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095

Aljaedi, A., et al. (2023). Underpinning quality assurance: A conceptual model for IoT-based applications. Sustainability, 15(22), 15683. https://doi.org/10.3390/su152215683

Caro, A., & Cano, M.-D. (2021). A novel holistic approach for performance evaluation in Internet of Things. International Journal of Communication Systems, 34(14), e4454. https://doi.org/10.1002/dac.4454

Chassoux, B., Naveen, K., & Yuvaraj, D. (2024). Enhancing IoT service quality using blockchain and machine learning. Internet of Things, 27, 102345. https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.102345

CheSuh, L. N., Fernández-Díaz, R. Á., Alija-Pérez, J. M., et al. (2024). Improve quality of service for IoT service provisioning using advanced AI and machine learning algorithms. Internet of Things, 26, 101123. https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101123

Deng, Y., & Liu, X. (2023). A new QoS-aware service discovery technique in the Internet of Things using whale optimization and genetic algorithms. Visual Computing for Industry, Biomedicine and Art, 6(1), 33. https://doi.org/10.1186/s44147-023-00334-1

Efstathiou, J., Ameen, J., Rossouw, L., Hacker, M., & de Vries, H. (2011). Consensus measurement in Delphi studies: Review and improvement. Technological Forecasting and Social Change, 78(9), 1628–1637. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.006

Fortune Business Insights. (2023). Internet of Things (IoT) market size, share, growth and forecast 2023–2030. https://www.fortunebusinessinsights.com

Hakim, A., Hassan, R., & Mahmood, N. (2022). CSFs for IoT-based service deployment in enterprises. Journal of Business Research, 148, 325–336. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.012

Hamzei, M., Khandagh, S., & Jafari Navimipour, N. (2023). A quality-of-service-aware service composition method in the Internet of Things using a multi-objective fuzzy-based hybrid algorithm. Sensors, 23(16), 7233. https://doi.org/10.3390/s23167233

Hasson, F., & Keeney, S. (2011). Enhancing rigour in the Delphi technique. Technological Forecasting and Social Change, 78(9), 1695–1704. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.04.005

Hizam, S. M., & Ahmed, W. (2020). A conceptual paper on SERVQUAL framework for assessing IoT service quality. arXiv:2001.01840. https://arxiv.org/abs/2001.01840

Kim, M. (2016). A comprehensive model for IoT service quality assessment. Computers in Human Behavior, 62, 245–254. https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.042

Lin, J., & Hsieh, P. (2011). Assessing service quality of self-service technologies. Journal of Retailing and Consumer Services, 18(3), 267–275. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2010.12.001

Manivannan, D., & Radhakrishnan, S. (2020). Trust and reliability challenges in IoT ecosystems. Journal of Network and Computer Applications, 155, 102529. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102529

Mansouri, H., Zarei, A., & Bahrami, M. (2023). Information quality in IoT-based decision-making systems. Information & Management, 60(2), 103694. https://doi.org/10.1016/j.im.2023.103694

Minovski, P., Petrevska, B., & Koteski, C. (2020). QoS–QoE relationship in IoT-based services. Future Generation Computer Systems, 108, 334–345. https://doi.org/10.1016/j.future.2020.03.001

Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. Journal of Retailing, 64(1), 12–40.

Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Malhotra, A. (2005). E-S-QUAL: A multiple-item scale for assessing electronic service quality. Journal of Service Research, 7(3), 213–233. https://doi.org/10.1177/1094670504271156

Pradana, F., & Sari, N. (2023). Operational effectiveness in IoT-enabled organizations. Technology in Society, 75, 102391. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102391

Qamar, A., Hussain, R., & Hong, C. S. (2022). A Quality-of-Things model for assessing smart service experiences. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 33(8), e3668. https://doi.org/10.1002/ett.3668

Rukhiran, M., Wong-In, S., & Netinant, P. (2023). IoT-based biometric recognition systems: A quality assessment approach. IEEE Access, 11, 22767–22787. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3253024

Sagar, S. S., Mahmood, A., Sheng, Q. Z., Pabani, J. K., & Zhang, W. E. (2022). Understanding trust management in the social IoT: A survey. arXiv:2202.03624. https://arxiv.org/abs/2202.03624

Singh, S., & Baranwal, N. (2018). Quality and performance indicators in IoT applications. Procedia Computer Science, 132, 1187–1196. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.029

Thomas, L., & Basharirad, H. (2017). Reliable and secure communication in IoT ecosystems. IEEE Internet of Things Journal, 4(5), 135–149. https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2687058

von der Gracht, H. (2012). Consensus measurement in Delphi studies: Review and implications. Technological Forecasting and Social Change, 79(8), 1525–1536. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013

Waris, M., et al. (2022). Practical quality design criteria for IoT services. Sensors, 22(5), 1876. https://doi.org/10.3390/s22051876

Zafar, H., Hussain, F., & Jangshar, S. (2019). Machine-learning-based security enhancements in IoT services. IEEE Access, 7, 146289–146303. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945301

Zhang, J., Zheng, H., & Li, Y. (2021). Data quality in IoT systems: A comprehensive review. ACM Computing Surveys, 54(5), 1–36. https://doi.org/10.1145/3439721

Developing an Integrated Framework for Evaluating Performance and Quality in Internet of Things (IoT) Services

Morteza Naserinezhad
PhD Candidate in Industrial Engineering, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Email.morteza.miner@gmail.com

Mohammadreza Nabatchian (Corresponding Author);

PhD. in Industrial Engineering, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, CT.C.,Islamic Azad University, Tehran. Iran.

Email: moh.nabatchian@iauctb.ac.ir

MohammadJavad Ershadi

PhD. in Industrial Engineering, Associate Professor, Iranian Research Institute for Information Science and Technology (IranDoc), Tehran. Iran.

Email: Ershadi@irandoc.ac.ir

Abstract

Service quality challenges in the Internet of Things (IoT) stem from its inherent complexity and heterogeneity. The diversity of devices, protocols, and networks makes it difficult for organizations to deliver stable, reliable, and secure IoT-based services. Unstable connectivity, latency, data loss, and security vulnerabilities further amplify risks to privacy, efficiency, and customer satisfaction. These issues become even more pressing when companies and institutions integrate IoT into their service offerings, where poor quality directly affects user trust, organizational costs, and long-term adoption. To address this gap, this study develops an integrated model for evaluating both the performance and service quality of IoT-based services at the organizational level. The model aims to improve user experience (QoE), increase efficiency through better resource utilization, and support decision-making for service providers. Methodologically, evaluation criteria were identified through a systematic literature review, refined via the Delphi method with expert consensus, and prioritized using the TOPSIS multi-criteria decision-making approach based on Critical Success Factors (CSFs). The findings highlight reliability, security and privacy, and data quality as the most influential criteria, providing both theoretical contributions and practical guidance for organizations seeking to strengthen their IoT service strategies.

Keywords: **service quality, Internet of Things, performance evaluation, Critical Success Factors**



مرتضی ناصری نژاد

دانش‌آموخته کارشناسی مهندسی صنایع در دانشگاه تربیت مدرس است. ایشان هم اکنون دانشجوی دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی است و کیفیت و بهره وری و مدیریت ریسک از جمله علایق پژوهشی وی است.



محمدرضا نباتچیان

دانش‌آموخته دکتری تخصصی دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی در رشته مهندسی صنایع و فوق دکترای مهندسی صنایع از دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. ایشان هم اکنون استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی است. مهندسی و کنترل کیفیت، طراحی آزمایش، قابلیت اطمینان و پایایی از جمله علایق پژوهشی وی است.



محمدجواد ارشادی

دانش‌آموختهٔ دکتری تخصصی دانشگاه علم و صنعت در رشتهٔ مهندسی صنایع است. ایشان هم‌اکنون دانشیار گروه پژوهشی مدیریت فناوری اطلاعات پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران است. کنترل کیفیت آماری، مدیریت کیفیت جامع، بازمهندسی فرایندهای کسب‌وکار، بهینه‌سازی، الگوریتم‌های فراابتکاری، تجزیه‌وتحلیل سیستم‌ها و داده‌کاوی از جمله علایق پژوهشی وی است.