اولویت‌بندی حوزه‌های کاربردی اینترنت‌اشیاء در صنایع ایران

صادق عبدل‌آبادی*
دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
sabdolabadi5@gmail.com

محمدمهدی موحدی
دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
mmmovahedi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۸
تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی پیشبرد صنعت ۴/۰ در حوزه‌های کاربردی مختلف صنعت ایران با استفاده از دستاوردها و فناوری‌های مبتنی بر اینترنت‌اشیاء هست. در این تحقیق ۱۱۲ مقاله با جستجوی کلیدواژه‌های تخصصی مرتبط با موضوع و با استفاده از منابع مطالعاتی معتبر مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه چکیده ۸۸ مقاله مرتبط با کاربردهای اینترنت‌اشیاء بررسی شد. در بررسی به‌عمل آمده در نهایت ۳۲ عنوان مقاله ادبیات موضوعی ما را تشکیل دادند. با توجه به ادبیات موضوعی کاربردهای مختلف فناوری اینترنت‌اشیاء استخراج شد و در جدولی دسته‌بندی شدند؛ سپس با تشکیل گروه خبرگان که به صورت قضاوتی انتخاب شدند و طراحی پرسشنامه مقایسه زوجی روش AHP و استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس، نتایج نشان داده است که با توجه به معیارهای زیرساخت‌ها، پشتیبانی مالی، حمایت مدیران ارشد، آموزش به‌کارگیری، وجود میان‌افزارها، امنیت ارتباطات، بهره‌مندی از متخصصین و میل به نوآوری، حوزه تولید هوشمند شامل صنعت خودرو، سیستم کنترل صنعتی و ساخت هوشمند، مدیریت زنجیره تأمین و پشتیبانی، شبکه‌های هوشمند، لجستیک هوشمند، خدمات و فرایندهای تولید هوشمند و غیره، کاربردپذیرترین حوزه برای پیشبرد صنعت ۴/۰ با فناوری اینترنت‌اشیاء هست. همچنین حوزه محیط‌زیست و بازیافت در پایین‌ترین سطح از کاربردپذیری هست که می‌طلبد مدیران ارشد با حمایت از راهبردهای انتقال فناوری مبتنی بر اینترنت‌اشیاء، استفاده از متخصصین iot و نیز پشتیبانی مالی مدیران بالادستی برای بهره‌مندی این حوزه از زیرساخت‌های متناسب با iot، راه را برای ورود این حوزه به صنعت ۴/۰ هموار سازند.

واژگان کلیدی

انقلاب صنعتی چهارم؛ اینترنت‌اشیاء؛ تحلیل سلسله‌مراتبی؛ INDUSTRY 4.0؛ IOT؛ AHP.

۱- مقدمه

یکی از موضوعات جذاب و درعین‌حال یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی کشور بحث انقلاب صنعتی چهارم[1] هست، انقلابی که بر پایه فناوری دیجیتال استوار است و به لحاظ مقیاس و دامنه پیچیدگی بسیار متفاوت‌تر از آن چیزی است که بشریت به واسطه انقلاب‌های صنعتی پیشین تجربه کرده است.

در سال‌های اخیر، توسعه و پیشرفت بزرگی در اینترنت‌اشیاء (IOT[2]) و حوزه‌های مربوطه آن مانند داده‌های بزرگ[3]، محاسبات ابری[4] و فناوری‌های بی‌سیم[5] وجود داشته است. این گرایش‌ها در حال ظهور فرصت‌هایی برای افزایش بهره‌وری صنعتی و همچنین ایجاد انقلاب صنعتی چهارم فراهم می‌کنند. انقلاب صنعتی چهارم که در ادبیات، صنعت ۴/۰[6] نامیده می‌شود، به‌عنوان "صنعت هوشمند" یا "تولید هوشمند" نیز شناخته می‌شود.

هدف اصلی صنعت ۴/۰ شامل خودکارسازی، بهبود فرایند و افزایش بهره‌وری است. این فناوری جدید راه خود را برای پیشرفت هموار کرده است، نه‌تنها تغییر شکل داده است، بلکه فرایند تولید صنعت را نیز متحول ساخته است. صنعت ۴/۰ ترکیبی از فناوری‌های نوظهور است که از سامانه‌های سایبری - فیزیکی (CPS)، اینترنت‌اشیاء، یکپارچه‌سازی صنعتی، محاسبه ابری و دیگر فناوری‌های کلیدی نشأت می‌گیرد [۱].

یکی از اجزای اصلی صنعت ۴/۰، که منجر به تغییر الگو برای شرکت‌های تولیدی می‌شود، اینترنت‌اشیاء است. بسیاری از شرکت‌های

1. Fourth Industrial Revolution
2. Internet Of Thing
3. Big Data
4. Cloud Computing
5. Wireless
6. Industry 4.0

* نویسنده مسئول

تولیدی با چالش‌هایی در یکپارچه‌سازی اجزای اصلی صنعت ۴/۰ مواجه هستند. اینترنت‌اشیاء یک تبدیل فناورانه از داده‌های واقعی جهان به داده‌های مجازی است و قابلیت به اشتراک‌گذاری اطلاعات را دارد. iot محیطی را فراهم می‌کند که هر شیء می‌تواند متصل و در سراسر شبکه ارتباط داشته باشد. اینترنت‌اشیاء فناوری جدیدی است که به‌سرعت در زمینهٔ مخابرات در حال رشد است. به‌طور خاص، IoT با مخابرات بی‌سیم ارتباط دارد. هدف اصلی تعامل و همکاری بین اشیا و موضوعاتی که از طریق شبکه‌های بی‌سیم ارسال و دریافت می‌شوند [۲].

اینترنت‌اشیاء توسط مصرف‌کنندگان و نیز تولیدکنندگانی که وابسته به اینترنت (نرم‌افزار، سامانه‌های اطلاعات) هستند و اتصال فیزیکی (دستگاه‌ها، ماشین‌آلات، تجهیزات) دارند، برای عملکرد مؤثرتر، استفاده می‌شود [۳].

در این مقاله کاربردپذیری اینترنت‌اشیاء (iot) به‌عنوان یک توانمندساز کلیدی برای انقلاب صنعتی چهارم در حوزه‌های مختلف صنعت در ایران ارائه شده است.

تأکید اصلی بر پیش‌زمینه رسمی و مقدمه صنعت ۴/۰ است و لایه‌بندی اینترنت‌اشیاء و کاربردپذیری آن توصیف می‌شوند.

۲- مرور ادبیات موضوعی

در این بخش به توصیف و مرور ادبیات موضوعی پرداخته می‌شود. لذا ابتدا توصیفی از انقلاب صنعتی چهارم و سپس به کاربردها و توصیف اینترنت‌اشیاء اشاره می‌شود.

۲-۱- انقلاب صنعتی چهارم

انقلاب صنعتی اول از آب و انرژی بخار به‌منظور مکانیزه‌کردن تولیدات استفاده نمود. انقلاب صنعتی دوم از قدرت الکتریسیته به‌منظور تولید انبوه بهره برد. سومین انقلاب صنعتی از علم الکترونیک و فناوری اطلاعات به‌منظور تولید خودکار استفاده نمود. انقلاب چهارم صنعتی بر پایه‌های انقلاب سوم بنا نهاده شده است و شامل همجوشی فناوری‌های مختلف است که مرزهای زیستی، دیجیتال و فیزیکی را در می‌نوردد [۴].

ماینارد (۲۰۱۵)، چهارمین انقلاب صنعتی را به‌عنوان حرکتی که سعی در بهره‌برداری و همگراکردن چندین فناوری در حال ظهور دارد، توصیف می‌کند [۵].

امروزه، همه مؤلفه‌های اصلی صنعت به‌سرعت درحال توسعه هستند و تمرکز اصلی بر تعامل و ارتباط هوشمند تمامی قطعات در تولید و محصولات نهایی است؛ ایده اصلی انقلاب صنعتی چهارم این است که در آینده، کسب‌وکار صنعتی از طریق شبکه‌های جهانی ساخته خواهد شد که ماشین‌آلات، تولید و تجهیزات انبارداری را به‌عنوان سامانه‌های سایبری-فیزیکی متصل خواهد کرد و با به اشتراک‌گذاری اطلاعات و پردازش داده‌ها، به‌طور هوشمندانه یکدیگر را کنترل خواهد کرد. این سامانه‌های سایبری- فیزیکی شکل کارخانه‌های هوشمند، ماشین‌های هوشمند، امکانات ذخیره‌سازی هوشمند و زنجیره‌های تأمین هوشمند را خواهند داشت. در فرایند ساخت، مهندسی بهبودیافته، کاربرد مواد، زنجیره‌های تأمین و مدیریت چرخه عمر محصول و سامانه‌های متمرکز و آفلاین که به یکدیگر متصل نیستند، بهبود خواهند یافت [۶].

فناوری جدید یک منبع مهم برای کارآفرینان و استارتاپ‌ها است که ایده‌هایی را برای کسب‌وکار خود ایجاد کنند. انقلاب فناورانه آینده به رهبری اینترنت‌اشیاء، هوش مصنوعی[1] و زنجیره بلوکی[2] محیط اقتصادی کنونی را به شدت تغییر خواهند داد و فرصت‌های تجاری جدید ایجاد خواهند کرد. هوش مصنوعی و زنجیره بلوکی به سرعت در حال تحول هستند و توجه بسیاری از سرمایه‌گذاران را به صنعت (ICT) جلب می‌کنند. همکاری این فناوری‌های جدید و نیز چالش‌های مربوط به آن، عظیم است. تحت چنین شرایطی، چگونگی درک این مفاهیم جدید و استفاده از آن‌ها برای ایجاد مدل‌های کسب‌وکار یک مسأله حیاتی برای کارآفرینان در محیط کسب‌وکار جدید است [۷].

۲-۲- اینترنت‌اشیاء

اینترنت‌اشیاء مفهومی جدید در دنیای فناوری و ارتباطات است. به‌صورت خلاصه اینترنت‌اشیاء فناوری مدرنی است که در آن برای هر موجودی (انسان، حیوان و یا اشیاء) قابلیت ارسال داده از طریق شبکه‌های ارتباطی، اعم از اینترنت یا اینترانت، فراهم می‌گردد. فناوری اینترنت‌اشیاء نقش بسیار مهمی در دنیای کارآفرینان بازی می‌کند. کسب‌وکارهای متعددی بر محور این فناوری راه‌اندازی شده‌اند، درحالی‌که این مفهوم و این فناوری در ابتدای راه خود قرار دارد و هر روز بیش از پیش تغییرات و تحولات جدیدی در آن رخ می‌دهد. اینترنت‌اشیاء الگویی امیدوارکننده از ترکیب حوزه‌های مختلف فناوری است [۸].

اینترنت‌اشیاء می‌تواند به‌عنوان یک زیرساخت شبکه جهانی در نظر گرفته شود که متشکل از چندین ابزار متصل شده متعدد است که بر فناوری‌های پردازش حسی، ارتباطی، و پردازش اطلاعات تکیه دارند [۹]. جنبه‌های مختلفی از فناوری IoT در ادبیات دانشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰]،[۱۱].

۲-۲-۱- لایه‌های اینترنت‌اشیاء

- **لایه اول: لایه ادراک**

ادراک با انواع حسگرها و محرک‌ها که به شیء فیزیکی برای ادراک کمک می‌کنند، سروکار دارد. ادراک در لایه‌های فوقانی، لایه کاربرد برای رسیدن به هدف نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. حسگر وسیله‌ای است که با آشکارسازی تغییرات در کمیت، کیفیت و یا رویدادها خروجی را می‌فرستد. هدف لایه پنهان‌کردن اشیاء با حس بینایی، لامسه، بویایی، شنوایی و تفکر است. برخی حسگرهای رایج در سیستم iot برای تشخیص دما، وزن، حرکت، لرزش، شتاب، رطوبت و مکان استفاده می‌شوند [۱۱].

1. Artificial Intelligence
2. Blockchain

- **لایه دوم: لایه انتقال**

انتقال، لایه دوم در اکوسیستم IOT است. گام بعد از ادراک (جمع‌آوری اطلاعات حس‌گر) انتقال اطلاعات به لایه‌های بالاتر است. انتقال محدود به عواملی چون قدرت، محدوده و ظرفیت ذخیره‌سازی است (اکثر اکوسیستم‌های اینترنت‌اشیاء با توان کم با یک دامنه کوتاه کار می‌کنند) [۱۲].

- **لایه سوم: لایه محاسبه**

لایه محاسبه به معنی دریافت داده‌ها، پردازش داده، تصمیم‌گیری و تحویل تصمیمات به لایه برنامه است. لایه محاسبه شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار، الگوریتم‌ها، محاسبات ابری، آنالیز داده‌های بزرگ و امنیت است.

- **لایه چهارم: لایه کاربردی**

لایه کاربردی با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده و منتقل‌شده از لایه‌های پایین‌تر، درک تاکتیکی را فراهم می‌کند. لایه کاربرد شامل مقوله‌های مصرفی و کسب‌وکار هست.

۲-۲-۲- کاربردپذیری اینترنت‌اشیاء در حوزه‌های مختلف

برنامه‌های کاربردی iot هنوز در مراحل اولیه خود هستند. اما استفاده از iot به‌سرعت در حال تکامل و رشد است [۸]،[۱۳].

بسیاری از برنامه‌های کاربردی iot در صنایع مختلف شامل نظارت بر محیط‌زیست، خدمات مراقبت بهداشتی، موجودی و مدیریت تولید، زنجیره تأمین مواد غذایی، حمل‌ونقل، محل کار و پشتیبانی منزل، امنیت و مراقبت در مقالات مختلف مورد بحث قرار گرفته است که هرکدام از کاربردپذیری‌ها توانمندساز و فناوری کلیدی برای انقلاب صنعتی چهارم به شمار می‌رود.

متفاوت از بحث مقالات بررسی‌شده، بحث ما به‌طور خاص این‌گونه متمرکز است که کاربردهای اینترنت‌اشیاء، مورد بررسی مدیران ارشد مجموعه‌ها و صنایع مختلف قرار می‌گیرد تا کاربردپذیری آن‌ها در صنعت ایران مطالعه شود و همچنین ارتباط این فناوری‌های کلیدی مبتنی بر اینترنت‌اشیاء با انقلاب صنعتی چهارم در ایران روشن شود.

در زیر برخی از برنامه‌ها و کاربردپذیری‌های IoT در صنایع با توجه به بررسی مقالات، آورده شده است.

۲-۲-۱- A- استفاده از اینترنت‌اشیاء در شبکه برق

جنبه‌های معماری کنترل، زیرساخت ارتباطی و قابلیت‌های هوشمند، استفاده از اینترنت‌اشیاء در برنامه برق قدرت، برنامه مدیریت IoT برای شبکه‌های توزیع، استانداردها و پروتکل‌ها [۱۴]،[۱۵]،[۱۶]. زیرساخت اینترنت‌اشیاء مبتنی بر ماهواره، برای مدیریت شبکه‌های توزیع الکتریکی مقیاس بزرگ [۱۷]. مدیریت انرژی [۱۸]، کنتور هوشمند و مانیتورینگ [۱۹]،[۲۰].

۲-۲-۲- B- هوشمندسازی شبکه آب و گاز

(از پروتکل‌های ارتباطی گرفته تا تجزیه‌وتحلیل داده‌ها) [۲۱]. مدیریت آب هوشمند [۱۸]، تشخیص کمبود آب [۲۲]،[۱۹].

۲-۲-۳- C- سلامت الکترونیک

نظارت بر بیماران از راه دور [۲۳]،[۲۴]،[۲۵]،[۲۶]. اینترنت‌اشیاء در مراقبت‌های بهداشتی: فناوری‌های بنیادی، استانداردهای بین‌المللی، علائم حیاتی، مراقبت از افراد مسن، [۲۷]،[۲۸]،[۱۶]. مراقبت‌های بالینی، [۲۲]،[۲۴]. پوشش سلامتی هوشمند [۱۸]،[۱۵]،[۲۹]. مانیتورینگ و کنترل از راه دور در زیر شبکه با استفاده از شبکه حسگر هوشمند و اینترنت [۳۰].

۲-۲-۴- D- بیمه الکترونیک

ملاحظات IoT، الزامات و ساختارها برای برنامه‌های بیمه [۳۱].

۲-۲-۵- E- تولید هوشمند

صنعت خودرو [۳۲]، اینترنت‌اشیاء و صنعت خودرو: تغییر از یک پارادایم خودرو- محور به داده- محور [۳۳]، سیستم کنترل صنعتی و ساخت هوشمند، مدیریت زنجیره تأمین و پشتیبانی [۱۶]،[۲۹]،[۳۲]،[۲۴]، شبکه‌های هوشمند، لجستیک هوشمند [۲۵]، مجازی‌سازی زنجیره‌های تأمین مواد غذایی با اینترنت‌اشیاء [۳۴]، صنعت هوشمند، تولید هوشمند [۱۸]،

۲-۲-۶- F- شهر و خانه هوشمند

کاربرد برای برنامه‌ریزی شهری و ایجاد شهرهای هوشمند، خانه هوشمند، اینترنت اشیاء مبتنی بر برنامه‌ریزی شهری [۱۹]،[۱۶]،[۲۹]،[۲۲]،[۱۵]،[۲۸]، سیستم هوشمند ترافیک، محیط هوشمند: نظارت بر سلامت ساختمان‌ها، کنترل کیفیت هوا، نظارت بر آلودگی صوتی، پارکینگ هوشمند، سیستم روشنایی هوشمند، خانه هوشمند [۱۸]،[۲۵]،[۲۴].

۲-۲-۷- G- شناسایی فرکانس‌های رادیویی[1] و شبکه حسگر بی‌سیم[2]

نرم‌افزارها و ابزارها و سامانه‌های مبتنی بر RFID&WSN [۲۵]،[۳۵]،[۲۹]،[۱۶]،[۲۰].

۲-۲-۸- H- رایانش ابری

کاربرد اینترنت‌اشیاء در حوزه کلان داده و رایانش ابری [۲۴]،[۲۹].

۲-۲-۹- I- کشاورزی هوشمند

کشاورزی هوشمند [۱۹]،[۲۴]، کشاورزی و پیوند تولید [۳۲]، کشاورزی دقیق [۲۵].

1. RFID
2. WSN

۲-۲-۱۰- J- صنعت ارتباطات

صنعت ارتباطات (GSM-NFC-WLAN-GPS) [۳۲]،[۲۹]، امنیت هوشمند [۲۲]، برنامه‌های کاربردی اینترنت‌اشیاء در مدیریت امنیت عمومی [۱۶].

۲-۲-۱۱- K- حمل‌ونقل

کاربرد اینترنت‌اشیاء در صنعت حمل‌ونقل [۳۲]،[۲۵]،[۱۸]،[۱۹].

۲-۲-۱۲- L- محیط‌زیست و بازیافت

محیط‌زیست هوشمند [۱۸]. بازیافت هوشمند [۳۲].

۲-۲-۳- خلاصه پیشینه پژوهش

در این تحقیق ۱۱۲ مقاله با جستجوی کلیدواژه‌هایی مانند: iot- industry 4.0- application of iot- smart production- smart city- smart home- با استفاده از منابع مطالعاتی اینترنتی(گوگل اسکالر[1]، ساینس دایرکت[2]، امرالد[3]، امرالد[3]، اشپرینگر[4] و ...) بدست آمد در ادامه چکیده ۸۸ مقاله مرتبط با کاربردهای اینترنت‌اشیاء و فصول کتاب‌های مرتبط با برنامه‌های کاربردی اینترنت‌اشیاء بررسی شد. در بررسی به‌عمل آمده در نهایت ۳۲ عنوان مقاله یا فصل از کتاب ادبیات موضوعی ما را تشکیل دادند.

۳- روش تحقیق

روش تحقیق حاضر به لحاظ هدف کاربردی است زیرا نتایج آن را می‌توان در عمل بکار گرفت. ازنظر نحوه گردآوری اطلاعات نیز از نوع تحقیقات توصیفی پیمایشی است، زیرا ضمن بررسی وضع موجود با استفاده از پرسشنامه محقق ساخته، مصاحبه و مشاهده استفاده شده است.

در واقع از منظر روش تحقیق سؤال پژوهش این است:

حوزه‌های کاربردی اینترنت‌اشیاء در صنایع ایران کدام‌اند و اولویت‌بندی آنها چگونه است؟

برای پاسخ به این سؤال ابتدا با مطالعه مقالات پیشین ۱۲ حوزه کاربردی اینترنت‌اشیاء شناسایی شدند. سپس برای اولویت‌بندی حوزه‌های کاربردی با نظر خبرگان معیارهایی شناسایی شدند. در این مرحله ۸ معیار مشخص شد. پرسشنامه مقایسه زوجی براساس پیشرانه‌بودن فناوری‌های مبتنی بر اینترنت‌اشیاء برای انقلاب صنعتی چهارم طراحی شده است. روایی صوری پرسشنامه از طریق خبرگان و تأیید نهایی مدیران و اساتید بوده است. روش نمونه‌گیری این پژوهش تصادفی ساده هست که پس از جمع‌آوری داده‌های آن توسط نرم‌افزار Excel مرتب‌سازی و سپس با استفاده از نرم‌افزار Expert choice 11 به تجزیه‌وتحلیل سلسله‌مراتبی پرداخته و کاربردی‌ترین حوزه مشخص می‌شود.

۳-۱- به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی[5]

برای بررسی کاربردپذیری اینترنت‌اشیاء در صنعت ایران به‌عنوان پیشرانه انقلاب صنعتی چهارم از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده می‌کنیم.

بسته به کاربرد حوزه موردنظر، کاربردپذیری اینترنت‌اشیاء اهداف و شاخص‌های متفاوتی را می‌طلبد. طراحان ممکن است مجبور باشند اهدافی ایجاد کنند تا به تعادلی از هزینه‌ها و منافع دست یابند. لذا با تشکیل گروه خبرگان (۲۴ نفر از اساتید و مدیران ارشد حوزه‌های مورد بررسی در ادبیات موضوعی) معیارهای اولویت‌بندی استخراج شد که به ترتیب بیشترین تکرار در زیر مشاهده می‌کنید:

C1- زیرساخت‌ها C2- پشتیبانی مالی C3- حمایت مدیران ارشد C4- آموزش به‌کارگیری C5- وجود میان‌افزارها C6- امنیت ارتباطات C7- بهره‌مندی از متخصصین C8- میل به نوآوری

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یک روش ساده محاسباتی بر پایه‌ی عملیات اصلی روی ماتریس هست که با ایجاد سلسله‌مراتب مناسب و پردازش گام‌به‌گام و ساخت ماتریس تطبیقی در سطوح مختلف سلسله‌مراتب، مقادیر ویژه آن را محاسبه کرده و در بردار ضرایب وزن نهایی، اهمیت نسبی هر گزینه با توجه به هدف رأس سلسله‌مراتب تعیین می‌شود [۳۶].

AHP به‌عنوان یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره برای وضعیت‌های پیچیده‌ای که سنجه‌های چندگانه و متضادی دارند، ابزار تصمیم‌گیری نرمش‌پذیر و درعین‌حال قوی بشمار می‌رود [۳۷].

توماس ال ساعتی[6] برای تصمیم‌گیری در یک روش سازمان‌یافته با داشتن اولویت، اظهار داشت که باید این تصمیم را به مراحل زیر تجزیه کنیم:

گام اول: مسأله را تعریف کرده و نوع دانش مورد جستجو را مشخص کنید.

گام دوم: ساختار تصمیم‌گیری را از بالا با هدف تصمیم‌گیری ساختاربندی کنید، سپس اهداف از یک دیدگاه وسیع، از طریق سطوح میانی (معیارهایی که عناصر بعدی به پایین‌ترین سطح وابسته هستند) به پایین‌ترین سطح (که معمولاً مجموعه‌ای از جایگزین‌ها هست) را تشکیل دهید.

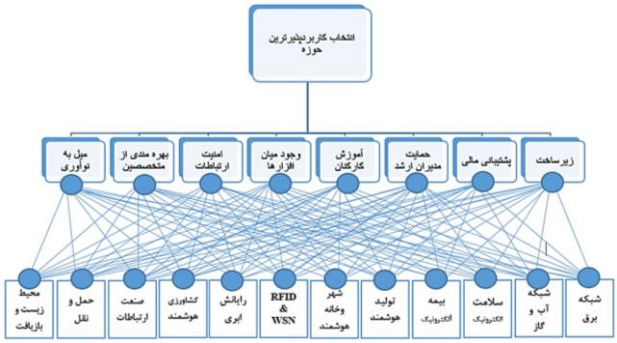
گام سوم: یک مجموعه از ماتریس‌های مقایسه زوجی بسازید به‌نحوی‌که هر عنصر در یک سطح بالاتر برای مقایسه عناصر در سطح پایین‌تر، مورداستفاده قرار می‌گیرد.

گام چهارم: از اولویت‌های به‌دست آمده در ماتریس‌های مقایسه زوجی، برای وزن کردن اولویت‌ها در سطح زیرین استفاده کنید. این کار را برای هر عنصر انجام دهید. سپس برای هر عنصر در سطح زیر مقادیر وزنی آن را اضافه و اولویت کلی یا سراسری آن را به‌دست آورید. این فرایند توزین را ادامه دهید و اضافه کنید تا اولویت‌های نهایی گزینه‌ها در پایین‌ترین سطح بدست آید [۳۶]. طبق فرایند ساعتی سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری پژوهش

1. Google Scholar
2. Science Direct
3. Emerald
4. Springer

5. Analytical Hierarchy Process
6. Thomas L, Saaty

مطابق شکل ۱ سلسه مراتب تعیین کاربردپذیری حوزه‌های مختلف صنعت ایران برای پیشبرد صنعت ۴/۰ مبتنی بر اینترنت‌اشیاء است؛



شکل ۱- سلسله مراتب تعیین کاربردپذیری حوزه‌های مختلف صنعت ایران برای پیشبرد صنعت ۴/۰ مبتنی بر اینترنت‌اشیاء

۴- تجزیه‌و تحلیل اطلاعات

با جمع‌آوری ۲۴ پرسشنامه مرتبط با مقایسه زوجی بین معیارها، ابتدا میانگین آن‌ها را محاسبه کرده و ماتریس میانگین مقایسه زوجی بین معیارها را تشکیل داده و با توجه به آن وزن هر شاخص را با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس بدست آورده که در جدول ۱ وزن معیارها نسبت به هدف مشاهده می‌کنید:

جدول ۱- وزن معیارها نسبت به هدف

C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1
۰/۰۲۰	۰/۰۳۲	۰/۱۴۰	۰/۰۶۹	۰/۰۵۳	۰/۱۵۰	۰/۳۲۵	۰/۲۱۰

با جمع‌آوری پرسشنامه مربوط به مقایسه زوجی بین گزینه‌ها (حوزه‌های کاربردی) نسبت به هریک از معیارها، ابتدا ماتریس میانگین را برای هر مورد محاسبه کرده و سپس امتیاز هر گزینه را نسبت به هر معیار مشخص کرده که نتایج در جدول ۲ امتیاز هر کزینه با توجه به مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر معیار مشاهده می‌شود.

ماتریس مقایسه زوجی که در جدول ۲ امتیاز هر گزینه با توجه به مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر معیار ارائه شده است خلاصه نتایج محاسبات نرم‌افزار اکسپرت چویس[1] از ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هریک از معیارهاست.

با توجه به محدودیت نگارش پژوهش فقط به نرم‌افزار و روش محاسبه اشاره شد و نتایج محاسبات در مقاله ذکر شده است.

در نهایت با توجه به وزن و اهمیتی که مدیران و متخصصان برای معیارهای کاربردپذیری اینترنت‌اشیاء در نظر گرفتن و با توجه به نتایج پرسشنامه‌های مقایسه زوجی حوزه‌های کاربردی نسبت به هریک از معیارها و ورود اطلاعات به نرم‌افزار اکسپرت چویس خروجی در شکل ۲ خروجی نرم‌افزار اکسپرت چویس - رتبه‌بندی حوزه‌های مختلف صنعت ایران و شکل ۳ خروجی نرم‌افزار اکسپرت چویس - رتبه هر حوزه کاربردی نسبت به هر معیار نمایش داده شده است.

جدول ۲- امتیاز هر گزینه با توجه به مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر معیار

	A	B	C	D	E	F
C1	۰/۰۶۴	۰/۰۶	۰/۱۰۱	۰/۰۳۳	۰/۱۶۹	۰/۱۲۷
C2	۰/۰۶۵	۰/۰۳۳	۰/۲۳۱	۰/۰۴۵	۰/۱۸۷	۰/۱۴۱
C3	۰/۰۳۴	۰/۰۴۲	۰/۰۹۱	۰/۰۱۷	۰/۲۴۸	۰/۱۸۵
C4	۰/۰۶۴	۰/۱۰۵	۰/۱۰۲	۰/۰۷۱	۰/۲۰۷	۰/۱۱۰
C5	۰/۰۷۲	۰/۰۵۷	۰/۰۸۴	۰/۰۶۶	۰/۲۳۸	۰/۱۱۵
C6	۰/۰۶۵	۰/۰۲۰	۰/۱۴۳	۰/۱۸۹	۰/۱۹۵	۰/۱۴۸
C7	۰/۱۵۱	۰/۱۷۰	۰/۰۷۵	۰/۰۶۸	۰/۲۳۳	۰/۴۶
C8	۰/۰۸۵	۰/۱۰۲	۰/۱۴۳	۰/۰۵۳	۰/۱۶۲	۰/۱۳۲
	G	H	I	J	K	L
C1	۰/۰۹۸	۰/۰۵۳	۰/۰۱۶	۰/۲۲۵	۰/۰۳۴	۰/۰۲۰
C2	۰/۰۳۷	۰/۰۳۸	۰/۰۲۸	۰/۱۳۴	۰/۰۴۲	۰/۰۲۶
C3	۰/۰۷۷	۰/۰۵۵	۰/۰۲۹	۰/۱۴۳	۰/۰۴۰	۰/۰۳۹
C4	۰/۰۴۴	۰/۰۴	۰/۰۲۶	۰/۱۹۶	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵
C5	۰/۰۵۶	۰/۰۳	۰/۰۴۴	۰/۱۷۵	۰/۰۳۵	۰/۰۲۹
C6	۰/۰۶۵	۰/۰۵۹	۰/۰۴۶	۰/۰۴۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۹
C7	۰/۰۳۸	۰/۰۲۶	۰/۰۲۲	۰/۱۴۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
C8	۰/۰۳۲	۰/۰۳۹	۰/۰۳۰	۰/۱۸۳	۰/۰۲۵	۰/۰۱۶

۵- نتیجه‌گیری

پیاده‌سازی موفق صنعت ۴/۰ با سیستم IoT نیازمند نقطه کانونی بسیاری از زمینه‌های مختلف از قبیل صنعت خودرو، شبکه‌های زنجیره تأمین، حمل‌ونقل، راهبردهای شهر هوشمند، و غیره هست. IoT به شرکت‌ها در بهبود روابط مشتری، ابزار پیگیری، تحویل سریع‌تر محصولات و کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند. متخصصان پیش‌بینی می‌کنند که ایجاد یک استاندارد برای صنعت ۴/۰ حداقل ۱۰ سال طول خواهد کشید و ممکن است شرکت‌های کوچک و متوسط را از ارتقاء سامانه‌های خود به دلیل سرمایه‌گذاری فعلی در دارایی‌ها منصرف کند [۳]. به‌کار بردن اینترنت‌اشیاء فرصت‌های تجاری جدیدی را ایجاد خواهند کرد [۳۹]. درحالی‌که پتانسیل زیادی برای پیشبرد فناوری‌های IoT در تولید وجود دارد، بسیاری از تولیدکنندگان از چگونگی ثبت قابلیت اینترنت‌اشیاء بی‌اطلاع هستند، که می‌تواند اشیاء ساخت روزمره را از طریق حسگری بی‌سیم به رایانش ابری متصل کند. به همین دلیل بهره‌مندی از متخصصین و آموزش کارکنان از معیارهای مهم برای بررسی کاربردپذیری اینترنت‌اشیاء در حوزه‌های مختلف است. یکی دیگر از معیارهای کاربردپذیری، امنیت ارتباطات است؛ در قلب اینترنت‌اشیاء، میلیون‌ها دستگاه، داده‌های خود را برای سامانه‌های متمرکز ارسال می‌کنند. داده‌هایی که معمولاً هیچ‌گونه سنخیتی با یکدیگر ندارند و نوع آن‌ها نیز متغیر است؛ به‌عبارت دیگر درحالی‌که بعضی از دستگاه‌های IoT ممکن

1. Expert Choice

است داده‌هایی در ارتباط با میزان رطوبت و دما جمع‌آوری کنند، در طرف مقابل دستگاه‌های IoT دیگر، ممکن است داده‌هایی در ارتباط با مکان زندگی مردم یا فعالیت حرکتی آن‌ها را جمع‌آوری نمایند. در نهایت داده‌های ضبط‌شده برای تحلیل به سمت سرورهای ابری یا دیگر دستگاه‌های IoT ارسال می‌شود. درست در همین مکان است که وجود یک اتصال مطمئن و پرسرعت، نقش کلیدی را در برقراری ارتباط میان دستگاه‌های IoT ایفا می‌کند.

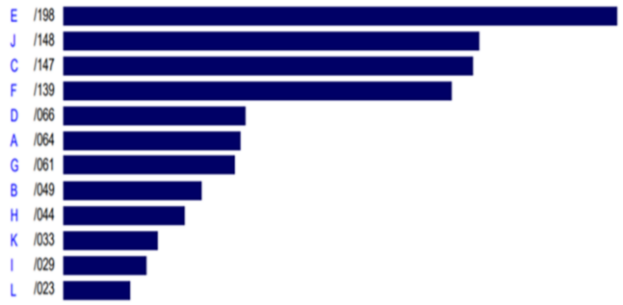
اگر تعهد و حمایت مدیریت ارشد سازمان با شناخت نیازهای واقعی سازمان به همراه مهیانمودن زیرساخت مناسب IT و ابزارهای مبتنی بر اینترنت‌اشیاء شکل گیرد، انتخاب مدیر پروژه قوی برای به‌کارگیری و پیاده‌سازی صنعت ۴/۰ با اکوسیستم iot صورت پذیرد، تشکیل گروه مناسب و تخصصی پروژه و بالابردن فرهنگ سازمانی و کار تیمی میان کارکنان و آموزش کافی و حفظ نیروی متخصص و آموزش‌دیده طی پروژه با ارائه سامانه‌های انگیزشی موردنظر قرار گیرد، موفقیت پیاده‌سازی و اجرای صنعت ۴/۰ در حوزه‌های کاربردی به‌وسیله iot تضمین بیشتری خواهد یافت.

نتایج نشان می‌دهد در ۱۲ حوزه کاربردی اینترنت‌اشیاء برای پیشبرد صنعت ۴/۰ در ایران، بیشترین و بهترین کاربردپذیری با توجه به عوامل و معیارهای هشت‌گانه پیاده‌سازی، مربوط به حوزه تولید هوشمند است. کاربردپذیری اینترنت‌اشیاء در حوزه تولید هوشمند که شامل: زنجیره تأمین هوشمند، دستگاه‌های هوشمند، خدمات هوشمند، فرایندهای تولید هوشمند، مهندسی هوشمند ... می‌شود [۴۰]، نسبت به ۵ معیار (C3, C4, C5, C6, C7) بیشترین ارجحیت. امتیاز را نسبت به سایر حوزه‌های کاربردی کسب کرد. از لحاظ معیار فراهم‌بودن زیرساخت‌ها برای پیاده‌سازی اینترنت‌اشیاء برای پیشبرد صنعت ۴/۰، صنعت ارتباطات بیشترین و بالاترین سطح از زیرساخت‌ها را نسبت به سایر ۱۱ حوزه کاربردی با توجه به نظر متخصصان دارا هست. از نظر معیار پشتیبانی مالی نیز حوزه کاربردی سلامت الکترونیک بالاترین سطح از حمایت را دارا هست. اما همان‌طور که در بالا ذکر شد با توجه به معیارهای هشت‌گانه و تجمیع امتیاز بدست‌آمده برای هر حوزه کاربردی نسبت به هر معیار به ترتیب کاربردی‌ترین حوزه‌ها با ذکر امتیاز در جدول ۳ جدول امتیاز نهایی هر حوزه کاربردی و رتبه‌بندی آن‌ها خلاصه شده است.

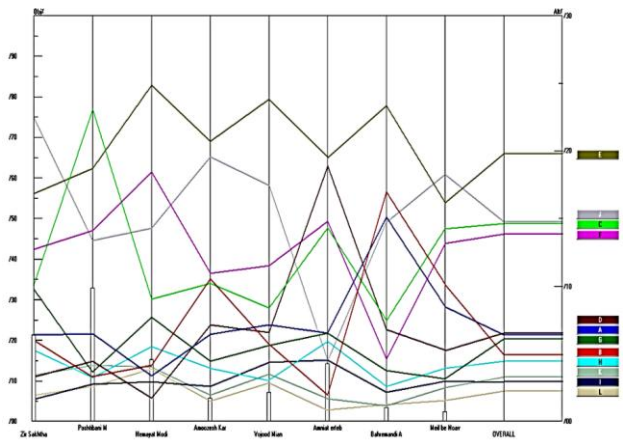
جدول ۳- جدول امتیاز نهایی هر حوزه کاربردی و رتبه‌بندی آن‌ها

رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
حوزه	E	J	C	F	D	A
امتیاز	۰/۱۹۸	۰/۱۴۸	۰/۱۴۷	۰/۱۳۹	۰/۰۶۶	۰/۰۶۴
رتبه	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
حوزه	G	B	H	K	I	L
امتیاز	۰/۰۶۱	۰/۰۴۹	۰/۰۴۴	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۲۳

با توجه به نتایج بدست‌آمده حوزه محیط‌زیست و بازیافت، کاربردپذیری بسیار پایینی برای پیشبرد صنعت ۴/۰ با اکوسیستم اینترنت‌اشیاء را دارا هست و می‌طلبد که مدیران ارشد با حمایت از راهبردهای انتقال فناوری مبتنی بر اینترنت‌اشیاء، استفاده از متخصصین iot و نیز پشتیبانی مالی مدیران بالادستی برای بهره‌مندی این حوزه از زیرساخت‌ها، راه را برای ورود این حوزه به صنعت ۴/۰ و به طبع آن بالابردن کیفیت و بهره‌وری هموار سازند.



شکل ۲- خروجی نرم افزار اکسپرت چویس- رتبه‌بندی حوزه‌های مختلف صنعت ایران



شکل ۳- خروجی نرم افزار اکسپرت چویس- رتبه هر حوزه کاربردی نسبت به هر معیار

۶- مراجع

1- L. Da Xu, E. L. Xu, and L. Li, "Industry 4.0: state of the art and future trends," Int. J. Prod. Res., vol. 56, no. 8, pp. 2941–2962, 2018.
2- C. Stergiou, K. E. Psannis, B.-G. Kim, and B. Gupta, "Secure integration of IoT and cloud computing," Futur. Gener. Comput. Syst., vol. 78, pp. 964–975, 2018.
3- A. J. C. Trappey, C. V Trappey, U. H. Govindarajan, A. C. Chuang, and J. J. Sun, "A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0," Adv. Eng. Informatics, vol. 33, pp. 208–229, 2017.
4- S. Klaus, "The fourth industrial revolution," in World Economic Forum, 2016, p. 11.
5- A. D. Maynard, "Navigating the fourth industrial revolution," Nat. Nanotechnol., vol. 10, no. 12, p. 1005, 2015.
6- A. Ermolaeva, "Industry 4.0 and HR in Logistics," UNIVERSITY OF ECONOMICS IN PRAGUE, 2017.
7- J. Liu, "Business models based on IoT, AI and blockchain," Industrial Engineering & Management, Department of Engineering Sciences, Technology, Disciplinary Domain of Science and Technology, Uppsala University, 2018.

8- L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The internet of things: A survey," Comput. networks, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
9- L. Tan and N. Wang, "Future internet: The internet of things," in Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010 3rd International Conference on, 2010, vol. 5, pp. V5-376.
10- M. U. Farooq, M. Waseem, S. Mazhar, A. Khairi, and T. Kamal, "A review on Internet of Things (IoT)," Int. J. Comput. Appl., vol. 113, no. 1, pp. 1–7, 2015.
11- A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
12- J. Wan, I. Humar, and D. Zhang, Industrial IoT Technologies and Applications. Springer, 2016.
13- H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, and S. Woelfflé, "Vision and challenges for realising the Internet of Things," Clust. Eur. Res. Proj. Internet Things, Eur. Commision, vol. 3, no. 3, pp. 34–36, 2010.
14- Q. Yang, A. Ehsan, L. Jiang, H. Zhao, and M. Cheng, "The Internet of Things in Electric Distribution Networks: Control Architecture, Communication Infrastructure, and Smart Functionalities," in Internet of Things, Chapman and Hall/CRC, 2017, pp. 231–252.
15- S. Albishi, B. Soh, A. Ullah, and F. Algarni, "Challenges and Solutions for Applications and Technologies in the Internet of Things," Procedia Comput. Sci., vol. 124, pp. 608–614, 2017.
16- Y. Ma, C. Wu, K. Ping, H. Chen, and C. Jiang, "Internet of Things applications in public safety management: a survey," Libr. Hi Tech, Dec. 2018.
17- Q. Yang and D. Meng, "Satellite-Based Internet of Things Infrastructure for Management of Large-Scale Electric Distribution Networks," in Internet of Things, Chapman and Hall/CRC, 2017, pp. 253–271.
18- K. Witkowski, "Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management," Procedia Eng., vol. 182, pp. 763–769, 2017.
19- R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer, and S. Khan, "Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges," in Frontiers of Information Technology (FIT), 2012 10th International Conference on, 2012, pp. 257–260.
20- Yang, Y. Yue, Y. Yang, Y. Peng, X. Wang, and W. Liu, "Study and application on the architecture and key technologies for IOT," in Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on, 2011, pp. 747–751.
21- S. Spinsante et al., "IoT-Enabled Smart Gas and Water GridsFrom Communication Protocols to Data Analysis," in Internet of Things, Chapman and Hall/CRC, 2017, pp. 273–302.
22- R. Mehta, J. Sahni, and K. Khanna, "Internet of Things: Vision, Applications and Challenges," Procedia Comput. Sci., vol. 132, pp. 1263–1269, 2018.
23- A. Sagahyroon, R. Aburukba, and F. Aloul, "The Internet of Things and e-Health: Remote Patients Monitoring," in Internet of Things, Chapman and Hall/CRC, 2017, pp. 303–319.
24- D. P. Acharjya, M. K. Geetha, and S. Sanyal, Internet of Things: novel advances and envisioned applications, vol. 25. Springer, 2017.
25- Z. Bi, L. Da Xu, and G. Wang, "A visualization platform for internet of things in manufacturing applications," Internet Res., vol. 26, no. 2, pp. 377–401, Mar. 2016.
26- S. Gupta, D. Dahiya, and G. Raj, "Remote Health Monitoring System Using IoT," in 2018 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE), 2018, pp. 300–305.
27- S. Faieq, R. Saidi, H. Elghazi, and M. D. Rahmani, "C2IoT: A framework for Cloud-based Context-aware Internet of Things services for smart cities," Procedia Comput. Sci., vol. 110, pp. 151–158, 2017.
28- J. Huang and K. Hua, Managing the Internet of Things. Architectures, Theories and Applications. The Institution of Engineering and Technology, 2016.
29- P. P. Ray, "A survey on Internet of Things architectures," J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci., vol. 30, no. 3, pp. 291–319, 2018.
30- K. R. Khan, A. Rahman, A. Nadeem, M. S. Siddiqui, and R. A. Khan, "Remote Monitoring and Control of Microgrid using Smart Sensor Network and Internet of Thing," in 2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), 2018, pp. 1–4.
31- D. Minoli, B. Occhiogrosso, K. Sohraby, J. Gleason, and J. Kouns, "IoT considerations, requirements, and architectures for insurance applications," in Internet of Things, Chapman and Hall/CRC, 2017, pp. 347–361.
32- D. Bandyopadhyay and J. Sen, "Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization," Wirel. Pers. Commun., vol. 58, no. 1, pp. 49–69, 2011.
33- Z. Saleh and S. Cayzer, "The Internet of Things and the Automotive IndustryA Shift from a Vehicle-Centric to Data-Centric Paradigm," in Internet of Things, Chapman and Hall/CRC, 2017, pp. 363–388.
34- C. N. Verdouw, J. Wolfert, A. J. M. Beulens, and A. Rialland, "Virtualization of food supply chains with the internet of things," J. Food Eng., vol. 176, pp. 128–136, 2016.
35- N. N. Srinidhi, S. M. D. Kumar, and K. R. Venugopal, "Network optimizations in the Internet of Things: A review," Eng. Sci. Technol. an Int. J., 2018.
36- P. T. Harker and L. G. Vargas, "The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process," Manage. Sci., vol. 33, no. 11, pp. 1383–1403, 1987.
37- O. S. Vaidya and S. Kumar, "Analytic hierarchy process: An overview of applications," Eur. J. Oper. Res., vol. 169, no. 1, pp. 1–29, 2006.
38- T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," Int. J. Serv. Sci., vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008.
39- F.-T. Cheng et al., "Industry 4.1 for wheel machining automation," IEEE Robot. Autom. Lett., vol. 1, no. 1, pp. 332–339, 2016.
40- F. Shrouf, J. Ordieres, and G. Miragliotta, "Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm," in Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2014 IEEE International Conference on, 2014, pp. 697–701.