بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی صنایع و مدیریت

رشته‌ی مدیریت صنعتی ، گرایش تولید و عملیات

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

هوشمندسازی زنجیره‌ی تامین بر مبنای اینترنت اشیای صنعتی و تولید ابری با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره

نگارنده : علی آقاجانی

استاد راهنما : دکتر محمد فتاحی

استاد مشاور : دکتر علی‌اکبر حسنی

شهریور ۹۸

شماره: ۹۰-۶-۹۸-۱۴
تاریخ: ۹۸/۶/۳۰

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/خانم اقاجانی علی با شماره دانشجویی ۹۶۰۲۷۷۴رشته: مدیریت صنعتی-تولید و عملیات تحت عنوان هوشمند سازی زنجیره ی تامین بر مبنای اینترنت اشیای صنعتی و تولید ابری با استفاده از تصمیم گیری چند معیاره که در تاریخ ۱۳۹۸/۶/۱۰با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی.....) ☐ **مردود** ☐

نوع تحقیق: **نظری** ☑ **عملی** ☐

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	محمد منامی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	—	—	
۳- استاد مشاور	علی اکبر حسن	دانشیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	مجید صابری	مربی	
۵- استاد ممتحن اول	رضا نیع	دانشیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	محمدحسن حسین	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

پروردگارا مرا از تاریکی‌های حدس و گمان خارج فرما و به نور ایمان گرامی بدار.

پروردگارا درهای رحمتت را بر ما بگشای و گنج‌های دانشت را بر ما بگستران.

❖ تقدیم نامه

این اثر را پیش کش

خانواده ام

می دارم.

امید است تا در آینده، بیشتر قدردان زحمات شان باشم.

❖ تقدیرنامه

شایسته و بایسته است تا از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمد فتاحی عضو هیئت علمی گروه صنایع در دانشکده صنایع و مدیریت دانشگاه صنعتی شاهرود که در طول این مسیر مبارک مرا همراهی و راهنمایی نموده‌اند سپاس‌گزاری نمایم و برای ایشان سلامتی و موفقیت روزافزون را از خداوند متعال مسالت دارم.

همچنین از حضور ارزش‌مند دکتر علی‌اکبر حسنی که قبول زحمت فرمودند و به عنوان استاد مشاور در کنار این پروژه‌ی علمی حضور داشتند و در نهایت از داوران گران‌قدر، دکتر رضا شیخ و دکتر سید محمدحسن حسینی، اساتید محترم دانشکده صنایع و مدیریت، که اثر پژوهشی این جانب را مورد بررسی، داوری و نقد دل‌سوزانه قرار داده و همواره با نظرات ارزش‌مند و نکات گران‌بهای خود مرا بسیار آموخته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورم و آرزومند تن‌درستی و عزت‌مندی حضرات هستم.

تعهدنامه

اینجانب **علی آقاجانی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته‌ی **مدیریت صنعتی / تولید و عملیات** در دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان **هوشمندسازی زنجیره‌ی تامین بر مبنای اینترنت اشیای صنعتی و تولید ابری با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره** ، تحت راهنمایی **دکتر محمد فتاحی** متعهد می‌شوم :

- پژوهش‌ها در این پایان‌نامه توسط این‌جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از پژوهش‌های دیگر پژوهش‌گران، به مرجع مورد استفاده استناد شده‌است.
- مطالب این پایان‌نامه تاکنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده‌است.
- حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد و مقالات مستخرج با نام **دانشگاه صنعتی شاهرود** یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آوردن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند، در مقالات تهیه شده از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شد.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا بهره برده)، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده‌است.

علی آقاجانی

شهریور۹۸

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمامی حقوق معنوی این اثر و آورده‌های آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. به نحوه‌ی مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان‌نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

زنجیره‌های تامین سنتی اغلب با چالش‌های متعددی مانند عدم اطمینان، هزینه‌ی بالا، پیچیدگی و آسیب‌پذیری مواجه هستند. به‌منظور غلبه بر این مسائل و باتوجه به پیشرفت روزافزون فناوری‌ها، زنجیرهای تامین باید هوشمند عمل نمایند تا فرآیندهایشان خودکار شده و بهتر مدیریت شوند. در واقع تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی موسسات و شرکت‌ها بایستی در زمان کم‌تر و با سرعت بالاتری اتخاذ گردند و همچنین به‌منظور حفظ مزیت‌های رقابتی در دنیای تجارتی امروز، باید از هزینه‌های غیرارزش‌افزا کاسته و بر پاسخ‌گویی به مشتری افزوده شود. امروزه شرکا و بازیگران یک زنجیره یعنی تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان خرد و کلان و در نهایت مصرف‌کنندگان نهایی بیش‌تر از گذشته نیازمند شفافیت اطلاعات و موجودی هستند. رسیدن به یک زنجیره‌ی تامین ابری هدفی است که ما در این پژوهش برای هوشمندسازی زنجیره‌های تامین به دنبال تحقق آن هستیم و مفهوم زنجیره تامین ابری در فصل دوم معرفی می‌شود. در این راستا، پژوهش حاضر سیستم تولید ابری را به‌منظور بهینه‌سازی یک مدل ساخت و تولید به کار می‌گیرد. بدین منظور فصل چهارم به ارائه‌ی یک مدل تولید خودور در فضای ساخت و تولید ابری اختصاص داده شده است. در ادامه‌ی این فصل یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی توسعه یافته‌است که ترکیب سرویس‌های ارائه‌شده توسط سرویس‌دهندگان بالقوه و واجد شرایط در فضای ساخت و تولید ابری را بهینه می‌سازد. در فصل پنجم اهیمت و جایگاه فناوری اینترنت اشیا در زنجیره‌ی تامین صنعت تولید را مورد واکاوی قرار گرفته‌است و مهم‌ترین دغدغه‌ها و چالش‌های آن بررسی و ارزیابی شده‌اند. برای این مهم تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره‌یِ فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیطی فازی (Fuzzy AHP) به‌کار گرفته شده و چالش‌های پیش روی استفاده از اینترنت اشیای صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در نهایت امید است تا نتایج به دست آمده از این پژوهش به بینش‌های لازم برای مدیریت موثر و کاراتر زنجیره‌های تامین خصوصا در هنگام استفاده از مفاهیم نوینی چون اینترنت اشیا و تولید ابری منجر شود.

کلمات کلیدی : زنجیره‌ی تامین هوشمند ، تولید ابری، اینترنت اشیای صنعتی

فهرست مطالب

فصل اول ---------- ۱

۱-۱ مقدمه ---------- ۲

۱-۲ بیان مسئله ---------- ۳

۱-۳ اهمیت پژوهش ---------- ٤

۱-۴ هدف ---------- ٤

۱-۵ روش‌ها و ابزارها ---------- ٤

۱-۶ قلمرو پژوهش ---------- ٥

۱-۶-۱ قلمرو موضوعی ---------- ٥

۱ـ۶ـ۲ قلمرو مکانی ---------- ٥

۱ـ۶ـ۳ قلمرو زمانی ---------- ٥

۱ـ۷ نوآوری پژوهش ---------- ٥

۱ـ۸ مفاهیم کلیدی ---------- ٦

۱ـ۸ـ۱ اینترنت اشیا ---------- ٦

۱ـ۸ـ۲ اینترنت اشیای صنعتی ---------- ٦

۱ـ۸ـ۳ رایانش ابری ---------- ٦

۱ـ۸ـ۴ تولید ابری ---------- ۷

۱ـ۸ـ۵ زنجیره‌ی تامین هوشمند ---------- ۷

۱ـ۸ـ۶ زنجیره‌ی تامین ابری ---------- ۷

۱ـ۹ ساختار کلی پژوهش ---------- ۸

فصل دوم ---------- ۹

۲ـ۱ مقدمه ---------- ۱۰

۲ـ۲ زنجیره‌ی تامین ---------- ۱۰

۲ـ۲ـ۱ لجستیک در زنجیره‌ی تامین ---------- ۱۲

۲ـ۲ـ۲ تاثیر اینترنت بر زنجیره‌ی تامین ---------- ۱۲

۲ـ۳ انقلاب چهارم صنعتی ---------- ۱۳
۲ـ۳ـ۱ واقعیت مجازی و واقعیت افزوده ---------- ۱٤
۲ـ۳ـ۲ سیستم‌های سایبر ـ فیزیکال ---------- ۱٥

۲ـ۴ اینترنت اشیا ---------- ۱٦
۲ـ۴-۱ شناسایی فرکانس رادیویی ---------- ۲۰
۲ـ۴ـ۲ نمونه‌هایی از کاربرد استفاده از اینترنت اشیا ---------- ۲۱

۲ـ۵ اینترنت اشیای صنعتی ---------- ۲٥

۲ـ۶ اینترنت اشیا در زنجیره تامین ---------- ۲۷
۲ـ۶ـ۱ پیشینه‌ی پژوهشی اینترنت اشیا در زنجیره تامین ---------- ۲۸
۲ـ۶ـ۲ زنجیره‌ی تامین هوشمند ---------- ۳۲

۲ـ۷ رایانش ابری ---------- ۳۳
۲ـ۷ـ۱ انواع سرویس‌دهی‌ها در رایانش ابری ---------- ۳٤
۲ـ۷ـ۲ مدل‌های رایانش ابری ---------- ۳٥

۲ـ۸ مروری بر سیر تحول سیستم‌های تولیدی ---------- ۳٦

۲ـ۹ مفهوم تولید ابری ---------- ۳۹
۲ـ۹ـ۱ سرویس‌گرایی در تولید ابری ---------- ٤۲
۲ـ۹ـ۲ پیشینه‌ی پژوهشی تولید ابری ---------- ٤۳
۲ـ۹ـ۳ سرویس‌های تولید ابری ---------- ٤٥
۲ـ۹ـ۴ مزایای تولید ابری ---------- ٤٦

۲ـ۱۰ مفهوم زنجیره‌ی تامین ابری ---------- ٤۷

فصل سوم ---------- ٥۱

۳ـ۱ مقدمه ---------- ٥۲

۳ـ۲ مدل ریاضی ---------- ٥۲
۳ـ۲ـ۱ مفهوم مدل ---------- ٥۲
۳ـ۲ـ۲ طبقه بندی مدل‌ها ---------- ٥۲
۳ـ۲ـ۳ پژوهش عملیاتی ---------- ٥۳
۳ـ۲ـ۴ برنامه‌ریزی خطی ---------- ٥٤
۳ـ۲ـ۵ برنامه‌ریزی عدد صحیح ---------- ٥۸

۳ـ۳ تصمیم‌گیری چندمعیاره ---------- ۵۹
۱ـ۳ـ۳ طبقه‌بندی تکنیک‌های MADM ---------- ٦۲
۲ـ۳ـ۳ تکنیک مقایسات زوجی ---------- ٦۵

۳ـ۴ منطق فازی---------- ۷۲
۱ـ۴-۳ اعداد فازی ---------- ۷٤

۳ـ۵ AHP فازی---------- ۷٦
۱ـ۵ـ۳ وزندهی گزینهها بر اساس روش تحلیل توسعه‌ی چانگ---------- ۷٦

فصل چهارم---------- ۸۱

۴ـ۱ مقدمه ---------- ۸۲

۴ـ۲ معرفی مدل ---------- ۸۲

۴ـ۳ مدل ریاضی ---------- ۸٤
۱ـ۳ـ۴ نمادها و علائم ---------- ۸٤

۴ـ۴ اعتبارسنجی مدل ---------- ۸۷
۱ـ۴-۴ مدل تولید خودرو---------- ۸۷

---------- ۸۷
۲ـ۴ـ۴ مفروضات مسئله‌ی نمونه ---------- ۸۸

۴ـ۵ حل مدل و جواب مسئله---------- ۹۱

۴ـ۶ تحلیل حساسیت ---------- ۹۲

۴ـ۷ نتیجه---------- ۹٤

فصل پنجم---------- ۹۵

۵ـ۱ مقدمه ---------- ۹٦

۵ـ۲ چالش‌های استفاده از IIoT---------- ۹٦
۱ـ۲ـ۵ قابلیت اطمینان ---------- ۹۷
۲ـ۲-۵ سرویس‌دهی ---------- ۹۸

۳ـ۲ـ۵ شبکه سازی ---------- ۹۹

۵ـ۲ـ۴ امنیت ---------- ۱۰۰
۵ـ۲ـ۵ حریم خصوصی ---------- ۱۰۱
۵ـ۲ـ۶ مسائل سازمانی ---------- ۱۰۱

۵ـ۳ ارزیابی چالش‌ها ---------- ۱۰۳
۵ـ۳ـ۱ وزن‌دهی معیارها با AHP فازی ---------- ۱۰۴

۵ـ۴ نتایج AHP فازی ---------- ۱۰۴

۵ـ۵ نتیجه ---------- ۱۱۲

فصل ششم ---------- ۱۱۷

۶ـ۱ بحث ---------- ۱۱۸

۶ـ۲ پیشنهادات ---------- ۱۱۹
۶ـ۲ـ۱ پیشنهادات مدیریتی ---------- ۱۱۹
۶ـ۲ـ۲ پیشنهادات پژوهشی ---------- ۱۲۰

۶ـ۳ محدودیت‌های پژوهش ---------- ۱۲۱

فهرست شکل‌ها

ن
شکل(۱ـ۲) سیر انقلاب‌های صنعتی ۱۳
شکل(۲ـ۲) سیستم سایبر ـ فیزیکال ۱۵
شکل (۳ـ۲) مفهوم IoT ۱۶
شکل(۴ـ۲) چارچوب چهارلایه‌ای IoT ۱۸
شکل(۵ـ۲)چارچوب پنج‌لایه‌ای IoT ۱۹
شکل(۶ـ۲) فناوری RFID ۲۰
شکل(۷ـ۲) حمل‌ونقل هوشمند ۲۲
شکل(۸ـ۲) خانه‌ی هوشمند ۲۳
شکل(۹ـ۲) لجستیک هوشمند ۲۵
شکل(۱۰ـ۲) اینترنت اشیای صنعتی ۲۶
شکل(۱۱ـ۲) چارچوب ارزیابی زنجیره تامین هوشمند ۲۹
شکل(۱۲ـ۲) سرویس‌های رایانش ابری ۳۴
شکل(۱۳ـ۲) مدل‌های پیاده‌سازی رایانش ایری ۳۶
شکل(۱۴ـ۲) کاربران تولید ابری ۴۱
شکل(۱۵ـ۲) مفهوم سرویس ـ گرایی ۴۲
شکل (۱۶ـ۲) نمایش زنجیره‌ی تامین ابری ۴۷
شکل (۱۷ـ۲) تسهیم اطلاعات در زنجیره‌ی تامین ابری ۴۸
شکل(۱ـ۳) طبقه‌بندی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ۶۳
شکل(۲ـ۳) انواع طیف‌های دوقطبی ۶۴
شکل(۳ـ۳) ماتریس مقایسات زوجی ۶۵
شکل(۴ـ۳) مثال عددی ماتریس مقایسات زوجی ۶۷
شکل(۳.۵) درخت سلسله‌مراتب ۶۸
شکل(۶ـ۳) ماتریس نظرات خبرگان ۷۷
شکل(۱ـ۴) مدل ترتیبی ساخت خودرو ۹۱
شکل (۲ـ۴) جانمایی سرویس‌ها ۹۲
شکل(۱ـ۵) دسته‌بندی چالش‌های IIoT ۹۶

فهرست جدول‌ها

جدول(۱ـ۳) طبقه‌بندی مدل‌ها----------۵۳
جدول(۲ـ۳) ویژگی شاخص‌های مناسب----------۶۲
جدول(۳ـ۳) طیف ارجحیت ساعتی----------۶۶
جدول(۴ـ۳) مقایسات زوجی----------۶۶
جدول(۵-۳) شاخص ناسازگاری تصادفی----------۷۱
جدول(۶ـ۳) ارزش فازی ارجحیت‌ها ----------۷۶
جدول(۱ـ۴) سرویس‌های مورد نیاز----------۸۹
جدول(۲ـ۴) سرویس‌دهندگان بالقوه----------۸۹
جدول(۳ـ۴) تخصیص بالقوه‌ی سرویس‌ها به سرویس‌دهندگان----------۹۰
جدول(۱ـ۵) مقایسات زوجی چالش‌ها---------- ۱۰۵
جدول(۲ـ۵) محاسبات اوزان نرمال چالش‌های اصلی ---------- ۱۰۵
جدول(۳ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای قابلیت اطمینان ---------- ۱۰۶
جدول(۴ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای قابلیت اطمینان---------- ۱۰۶
جدول (۵ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای سرویس‌دهی ---------- ۱۰۷
جدول (۶ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای سرویس‌دهی ---------- ۱۰۷
جدول (۷ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای شبکه‌سازی ---------- ۱۰۸
جدول (۸ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای شبکه‌سازی ---------- ۱۰۸
جدول (۹ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای امنیت ---------- ۱۰۹
جدول (۱۰ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای امنیت ---------- ۱۰۹
جدول (۱۱ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای حریم خصوصی---------- ۱۱۰
جدول (۱۲ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای حریم خصوصی ---------- ۱۱۰
جدول (۱۳ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای مسائل سازمانی---------- ۱۱۱
جدول (۱۴ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای مسائل سازمانی ---------- ۱۱۱

فهرست نمودارها

نمودار(۱ـ۳) منحنی عضویت---------- ۷۳
نمودار (۲ـ۳) نمودار منطق ارسطویی---------- ۷۳
نمودار (۳ـ۳) نمودار منطق فازی---------- ۷۴
نمودار (۴ـ۳) عدد فازی مثلثی ---------- ۷۵
نمودار (۵ـ۳) عدد فازی ذوزنقه‌ای---------- ۷۵
نمودار(۱ـ۴) تغییرات مقدار تابع هدف نسبت سطوح مختلف کیفیت ---------- ۹۳
نمودار (۲ـ۴) تغییرات مقدار تابع هدف نسبت به تغییرات حداکثر زمان تولید ---------- ۹۴
نمودار(۱ـ۵) اوزان نهایی چالش‌های اصلی---------- ۱۱۲
نمودار(۲ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای قابلیت اطمینان---------- ۱۱۳
نمودار(۳ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای سرویس‌دهی ---------- ۱۱۴
نمودار(۴ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای شبکه‌سازی ---------- ۱۱۴
نمودار(۵ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای امنیت ---------- ۱۱۵
نمودار(۶ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای حریم خصوصی ---------- ۱۱۵
نمودار (۷ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای مسائل سازمانی ---------- ۱۱۶

فصل اول

کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

زنجیره‌های تامین به‌دلیل فضای بسیار رقابتی دنیای کسب‌وکار، در تکاپوی مستمر برای رقابت با سایر رقبا قرار دارند. بسیاری از شرکت‌ها با مشکلات مالی مواجه بوده و بعضی از آن‌ها نیز به خاطر شیوه‌های ضعیف مدیریت زنجیره‌ی تامین به تعطیلی کشیده شده‌اند. شرکت‌ها بایستی با استفاده از فناوری‌های لازم برای رقابت بیشتر و حفظ قابلیت پایداری در زنجیره‌ی تامین جهانی، هوشمندتر باشند و هوشمندتر عمل نمایند، تا فرآیندهایشان به سطح موردنیازی از اتوماسیون و خودکارسازی رسیده و بهتر مدیریت شوند. این که شرکت‌ها به جهت کاهش هزینه‌ها، ایجاد بهبود در سرویس‌دهی به مشتریان و افزایش سریع و مناسب بازگشت سرمایه‌گذاری‌ها در طول زنجیره‌ی تامین بایستی هوشمندتر باشند، اهمیت بسیاری پیدا کرده است.

در مدیریت کسب‌وکار نوین، کسب‌وکارهای فردی نمی‌توانند به عنوان موجودیت‌های مستقل رقابت نمایند، بلکه به‌عنوان اعضای فعال زنجیره‌ی تامینی گسترده‌تر، شامل یک شبکه‌ی چندگانه‌ای از کسب‌وکار و روابط می‌باشند. به همین ترتیب، زنجیره‌های تامین تحت محیط همیشه متغیر عمل کرده و در معرض خطرات زیادی در همه‌ی سطوح قرار دارند[۱]. بسیاری از زنجیره‌های تامین در مناطق وسیع جغرافیایی گسترش می‌یابند و در برابر بسیاری از خطرات جهانی آسیب‌پذیر هستند[۲]. امروزه مصرف‌کنندگان تقاضای بیشتری برای سفارشی‌سازی محصولات دارند و دیگر سفارشی‌سازی تنها به شکل و ظاهر یک محصول محدود نمی‌شود؛ مشتریان به دنبال این هستند تا قیمت، کیفیت، سطح سرویس‌دهی‌ها نیز به شکل سفارشی در آیند.

تقاضای روزافزون برای محصولات و خدمات سفارشی و همچنین نوسانات مکرر بازار، چالش‌هایی را برای مدیریت و کنترل فرآیندهای تولید ایجاد کرده است. برای مثال، به علت نوساناتی چون تغییرات سفارش تولید و خرابی‌های غیرمنتظره‌ی تجهیزات، برنامه‌ریزی‌ها و زمان‌بندی‌های تولید، بعضا ناکارآمد و یا حتی نشدنی خواهند شد. علاوه بر این، تولید سفارشی در دسته‌ی کوچک و با چرخه‌ی تولیدی کوتاه، پیچیدگی محاسباتی را افزایش داده و هزینه‌ی بیشتری برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی ایجاد می‌شود[۳]. پیچیدگی محصولات نیز به خاطر سرعت بالا در بسیاری از صنایعی که تغییرات سریع در فناوری و معرفی مستمر محصولات جدید به بازار را دنبال می‌کنند، درحال افزایش است[۴]. علاوه بر این، محیط خارجی به دلایل اقتصادی (هزینه انرژی، قیمت و دسترسی مواد خام، نرخ تغییر ارز)، اجتماعی (ناآرامی‌ها، فرهنگ تقاضای مشتریان) و عوامل طبیعی (شرایط آب و هوایی شدید، زمین‌لرزه، سونامی) بسیار پویا می‌باشد. به‌منظور باقی‌ماندن در چنین محیط پیچیده‌ای، شرکت‌ها بایستی به شدت چابک باشند و سطح بالایی از ارتجاعی‌بودن و توانایی

کاهش‌دادن ریسک و قابلیت انعطاف‌پذیری ساختاری را ایجاد نمایند تا امکان پاسخ سریع به این چالش‌ها فراهم آید[۱]. کریستوفر و هولگ انعطاف‌پذیری ساختاری را به‌عنوان توانایی زنجیره‌ی تامین در سازگاری با تغییرات اساسی در یک محیط کسب‌وکار تعریف می‌کنند[۵]. با این حال، انعطاف‌پذیری و حالت ارتجاعی داشتن، هزینه‌های اضافی در قالب منابع مازاد مانند موجودیِ بافر و ایجاد ظرفیت‌های اضافی و همچنین هزینه‌ی هماهنگی بالاتر را به بار خواهد آورد. به منظور تعادل بین سطح موردنیازی از انعطاف‌پذیری و هزینه‌های دستیابی به آن، بنگاه‌ها باید دیدی وسیع نسبت به کل زنجیره‌ی تامین، سرعت لازم برای پاسخگویی سریع به تغییرات و هم‌کاری موثر با تامین‌کنندگان و مشتریان را دارا باشند[۱]. ایجاد شفافیت در اطلاعات (زمانی، مکانی، قیمت) و موجودی (مواد اولیه، کالای نیمه‌ساخته، کالای نهایی) در طول یک زنجیره‌ی تامین از مشارکت با تامین‌کنندگان تا سرویس‌دهی به مشتریان نقش بسیار مهمی در تحقق اهدف افزایش چابکی و انعطاف‌پذیری و کاهش هزینه‌ها خواهد داشت.

۲-۱ بیان مسئله

در دنیای نوین تجارت برای داشتن مدیریت زنجیره‌ی تامین اثربخش و کارآمد، فناوری اطلاعات[1] یک ضرورت به حساب می‌آید. IT در کمک به زنجیره‌های تامین به‌منظور مقابله با چالش‌های همیشه متغیر محیطی و هزاران ریسک موجود در سطوح مختلف، نقش مهمی را ایفا می‌کند. IT تاثیر مهمی بر ماهیت و ساختار زنجیره‌های تامین گذاشته است و این نیز به‌خاطر داشتن توانایی ادغام داخلی فرآیندهای گوناگون و مهم‌تر از همه، ادغام خارجی با تامین‌کنندگان و مشتریان می‌باشد. این مهم از طریق بهبود ارتباطات، کسب داده‌ها و انتقال آن‌ها، حاصل‌شده‌است؛ بنابراین تصمیم‌گیری موثر و افزایش عملکرد زنجیره‌ی تامین ممکن می‌گردد[۱]. انقلاب اینترنت در دهه‌های اخیر نشان داد که انواع تازه‌ای از فناوری‌ها می‌توانند تمامی ابعاد کسب‌وکارها را تحت تاثیر قرار دهند. اینترنت و ارتباطات الکترونیکی قادر به ارائه‌ی شفافیت بالا در میان موجودیت‌ها و شرکای یک زنجیره‌ی تامین می‌باشد و سرعت انتقال اطلاعات را افزایش می‌دهد.

اینترنت اشیا، به‌عنوان یکی از آخرین پیشرفت‌های IT ، یک انقلاب فناوری اطلاعات جدید بوده که تغییر پارادایم در چندین زمینه از جمله مدیریت زنجیره‌ی تامین[2] را موجب شده است. IoT همچنین کنترل از راه دور مدیریت عملیات زنجیره‌ی تامین و هماهنگی بهتر با شرکا را ممکن ساخته و می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری را برای تصمیم‌گیری موثرتر فراهم آورد و سطح جدیدی از چابکی و سازگاری را برای مقابله با چالش‌های مختلف SCM ارائه نماید[۱]. استفاده از

1. Information Technology
2 . Supply Chain Management

سرویس‌های تولیدیِ سرویس‌دهندگان بالقوه توسط تولیدکنندگان و همچنین به‌اشتراک‌گذاری ظرفیت‌ها وقابلیت‌ها به معنای بهره‌بردن از حداکثر امکانات و ظرفیت‌های موجود برای ساخت و ارائه‌ی یک محصول می‌باشد که بیان‌گر جایگاه ویژه‌ی تولید ابری به عنوان یک پارادایم تولیدیِ جدید است.

۱-۳ اهمیت پژوهش

ظهور فناوری‌های جدیدی همچون رایانش ابری و اینترنت اشیا باعث افزایش تولید داده و کنترل رویدادهای مربوطه، جمع‌آوری، انتقال، ذخیره‌سازی، پردازش و به اشتراک‌گذاری اطلاعات گوناگون خواهد شد. در سیستم‌های سنتی مدیریت زنجیره‌ی تامین، مشکلات متعددی از قبیل موجودی بیش از اندازه، تاخیر در تحویل و کمبود موجودی وجود دارد. این مشکلات به عوامل متعددی نظیر پیچیدگی و عدم اطمینان برمی‌گردد که معمولا در طول زنجیره‌ها دیده می‌شود؛ در حالی که اقلام ارزان‌تر، از لحاظ کیفیتی بهتر و از لحاظ زمانی سریع‌تر برای مدیران یک زنجیره‌ی تامین، مطلوب‌تر است؛ همچنین حداکثرسازی سود یک سازمان، از راه مدیریت موثر و کارآمد زنجیره‌ی تامین موجب می‌گردد. زنجیره‌های تامین سنتی هزینه‌زا و پیچیده هستند و به‌منظور غلبه بر این مسئله، هوشمندسازی زنجیره با به‌کارگیری فناوری‌های نوینی چون اینترنت اشیای صنعتی و تولید ابری مهم جلوه خواهد نمود. با بررسی پژوهش‌های گوناگون منتشرشده از پایگاه‌های مختلف مقالات، بر ما روشن شد که ساخت و تولید مبتنی بر فضای ابری که از مفهوم رایانش ابری نشات می‌گیرد، در پنج سال گذشته مورد توجه شدید پژوهش‌گران کشورهای مختلف قرار گرفته است و کشورهای آلمان و چین برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و سرمایه‌گذاری‌های کلانی در این زمینه داشته‌اند؛ به طوری که می‌توان تغییر پارادایم در تولید را حداقل برای این دو کشور در یک دهه‌ی آینده متصور شد.

۱-۴ هدف

پژوهش حاضر به بررسی تحقق زنجیره‌ی تامین ابری در راستای هوشمندسازی زنجیره‌ی تامین می‌پردازد. از این رو هدف اصلی پژوهش توسعه‌ی یک مدلی از ترکیب سرویس‌های ابری در یک زنجیره‌ی تامین ابری خواهد بود. در بخش دوم، هدف شناسایی و ارزیابی چالش‌های استفاده از فناوری اینترنت اشیا در صنعت دنبال می‌گردد.

۱-۵ روش‌ها و ابزارها

پژوهش حاضر به‌طور کلی در زمره‌ی پژوهش های کمی و از نوع کاربردی می‌باشد. برای ساخت مدل ارائه‌ی سرویس‌های خودرو و همچنین مدل بهینه‌سازی ریاضی آن در فضای

تولید ابری روش کار از نوع روش تحقیق کتابخانه‌ای بوده که پس از مدل‌سازی و ارائه‌ی مسئله‌ی نمونه، حل مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS صورت گرفته است. در بخش بررسی چالش‌های فناوری اینترنت اشیا، روش کار در ابتدا از نوع کتابخانه‌ای بوده که با بررسی آثار و مقالات گوناگون پژوهش‌گران حوزه‌ی اینترنت اشیا، مهم‌ترین مسائل و چالش‌های موجود در ادبیات شناسایی و دسته‌بندی شدند که در مرحله‌ی بعدی، از پرسشنامه‌ی خبرگان به‌منظور نظرسنجی در مورد اهیمت چالش‌ها بهره برده شد و طی یک روش میدانی پرسش‌نامه در میان خبرگان حوزه‌ی اینترنت اشیا توزیع شده‌است. رویکرد مورد استفاد در نظرسنجی، رویکرد مقایسات زوجی و تکنیک تحلیل آن AHP فازی با رویکرد تحلیل توسعه‌ی چانگ بوده است.

۱-۶ قلمرو پژوهش

۱-۶-۱ قلمرو موضوعی

پژوهش حاضر از لحاظ قلمرو موضوعی شامل زنجیره‌ی تامین، سیستم تولید ابری و همچنین فناوری اطلاعات و ارتباطات بوده که به مدیران سازمان‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت استفاده از اینترنت اشیا و سرویس‌های تولید ابری و ترکیب بهینه‌ی سرویس‌های ارائه‌شده توسط سرویس‌دهندگان ابری کمک خواهد کرد.

۱ـ۶ـ۲ قلمرو مکانی

برای استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره از پرسشنامه‌ی خبرگان در حوزه‌ی اینترنت اشیا و فناوری اطلاعات بهره برده شد که پرسشنامه‌ی مذکور در اختیار کارشناسان و خبرگان این حوزه در مرکز تحقیقات اینترنت اشیا داده شده است. مدل برنامه‌ریزی ریاضی توسعه داده‌شده در این پژوهش توسط یک مدل فرضی خط تولید خودور مورد تست و بررسی قرار گرفته و مثال عددی آن ارائه شده است.

۱ـ۶ـ۳ قلمرو زمانی

برای قلمرو زمانی لازم به ذکر است که این پژوهش از اسفندماه ۱۳۹۷ تا تیر ۱۳۹۸یعنی قریب به پنج ماه به‌طول انجامید.

۱ـ۷ نوآوری پژوهش

نوآوری این پژوهش ارائه‌ی مفهوم زنجیره‌ی تامین ابری با بهره‌مندی از فناوری اینترنت اشیا و مفهوم تولید ابری در جهت تحقق هوشمندسازی زنجیره‌های تامین می‌باشد.

۱ـ۸ مفاهیم کلیدی

در ادامه به توصیف مختصری از مفاهیم و اصطلاحات کلیدی این پژوهش خواهیم پرداخت. امید است تا افقی روشن برای ادامه‌ی راه و پرداختن به فصول بعدی در اختیارمان قرار دهد.

۱ـ۸ـ۱ اینترنت اشیا

اینترنت اشیا[1] به دنیای شبکه‌ای اشاره دارد که در آن، اشیای مختلف با سنسورهای الکترونیکی، محرک‌ها یا سایر دستگاه‌های دیجیتالی، تعبیه شده‌اند تا بتوانند به‌منظور جمع‌آوری و تبادل داده‌ها به هم متصل و شبکه شوند[۶]. شکل اصلی ارتباط، بین انسان با انسان است اما IoT تلاش می‌کند که نه‌تنها انسان ها از طریق اینترنت ارتباط برقرار کنند بلکه اشیا یا دستگاه ها نیز این ارتباط را دارا باشند. این اشیا قادرند اطلاعات را از طریق اینترنت مبادله کرده و اَشکال جدیدی از ارتباط اینترنتی (یعنی اشیا با انسان و اشیا با اشیا) ایجاد نمایند[۷].

۱ـ۸ـ۲ اینترنت اشیای صنعتی

اینترنت صنعتی یا اینترنت اشیای صنعتی[2] برای اشیای بزرگتر از گوشی‌های هوشمند و دستگاه‌های بی‌سیم ساخته شده و هدفش اتصال دارایی‌های صنعتی، مانند موتورها، شبکه‌های برق و سنسورها به ابرِ روی یک شبکه است[۸]. اینترنت صنعتی، عبارت است از اینترنت اشیا، ماشین‌آلات، کامپیوترها و افراد که عملیات صنعتی هوشمند را با استفاده از تحلیل‌های داده‌ایِ پیشرفته به منظور کسب نتایج تجاری تحول‌آمیز ممکن می‌سازد و تعریف مجددی از چشم‌اندازها را برای کسب‌وکار و افراد فراهم می‌آورد[۹].

۱ـ۸ـ۳ رایانش ابری

رایانش ابری[3] یک شکل از محاسبات مبتنی بر اینترنت است که از تسهیم منابع محاسباتی (شامل سخت‌افزار و نرم‌افزار) در راستای تحقق انسجام، انعطاف‌پذیری و اقتصادسنجی شبکه‌ای مشخص، بهره می‌برد. در رایانش ابری هماهنگی و کنترل ابر با استفاده از منابع به‌اشتراک گذاشته‌شده به‌جای استفاده از سرویس‌های محلی یا ابزارهای خصوصی ممکن می‌گردد. در رایانش ابری می‌توان سرویس‌ها (از جمله: سرورها، نرم‌افزارها و برنامه‌های کاربردی) را از طریق اینترنت به شخص یا به کامپیوترهای یک سازمان تحویل داد. هدف اصلی این فناوری فراهم‌کردن مدل‌های توزیعیِ مناسب براساس تقاضا با بالاترین سطح اطمینان، مقیاس‌پذیری، در دسترس بودن و عملکرد می‌باشد.

---

1. Internet of Things
2. Industrial Internet or industrial Internet of Things
3. Cloud Computing

۱ـ۸ـ۴ تولید ابری

تولید ابری[1] به یک مدل ساخت و تولید پیشرفته‌ی تحت پشتیبانی رایانش ابری، IoT، مجازی‌سازی و فناوری‌های سرویس‌گرا اشاره دارد که منابع تولید را به سرویس‌هایی تبدیل می‌کند تا قادر باشند به صورت جامع به اشتراک گذاشته شده و به گردش در بیایند[۱۰]. تولید ابری کل چرخه‌ی عمر یک محصول را از طراحی، شبیه‌سازی و ساخت تا آزمایش و نگهداری، پوشش می‌دهد. بنابراین معمولا به‌عنوان یک سیستم تولید موازی، شبکه شده و هوشمند (منظور ابر تولیدی) در نظر گرفته می‌شود، که در آن منابع و ظرفیت‌های تولیدی را می‌توان هوشمندانه مدیریت نمود[۱۱].

۱ـ۸ـ۵ زنجیره‌ی تامین هوشمند

زنجیره‌ی تامین هوشمند[2] زنجیره‌ی تامینی است که در آن تمامی عناصر از جمله دستگاه‌ها و ماشین‌آلات، کامپیوترها، کارکنان، کارشناسان، محصولات، کانتینترها و به‌طور کلی سیستم تامین، تولید و توزیع قابلیت اتصال به یک‌دیگر، تسهیم و اشتراک‌گذاری اطلاعات و سرانجام تصمیم‌گیری و خودسازمان‌دهی بر اساس این اطلاعات را دارا هستند. در زنجیره‌ی تامینی که هوشمند است، شرکای زنجیره در طول این زنجیره همواره به بخش‌های مختلف مجاز آن و اطلاعاتش دسترسی‌خواهند داشت.

۱ـ۸ـ۶ زنجیره‌ی تامین ابری

زنجیره‌ی تامین ابری[3] همانند تولید ابری از مفهوم رایانش ابری ایده می‌گیرد و بر تشریک‌مساعی و تسهیم منابع و اطلاعات در طول زنجیره تاکید می‌ورزد. شرکای زنجیره‌ی تامین به سرویس‌دهنده‌هایی مبدل می‌شوند تا قادر باشند توانایی‌ها، قابلیت‌ها و ظرفیت‌های مشخص و موردنیاز را در قالب سرویس‌های اطلاعاتی، سرویس‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، منابع تولید، سرویس‌های ساخت مانند برش‌کاری، پرس‌کاری، جوش‌کاری، نصب، سرویس‌های حمل‌ونقل و ... ارائه نمایند. در زنجیره‌ی تامین ابری فناوری‌های نوینی همانند IIoT ، سیستم‌های هوشمند، روبات‌ها و کلان‌داده‌ها نقش بسیار مهمی در اتصالات و ارتباطات و اشتراک‌گذاری اطلاعات ایفا خواهند نمود.

1. Cloud Manufacturing
2. Smart Supply Chain
3. Cloud Supply Chain

۱ـ۹ ساختار کلی پژوهش

برای ادامه‌ی راه این پایان‌نامه، در فصل دوم مبانی نظری زنجیره‌ی تامین، اینترنت اشیا، تولید ابری و ادبیات موضوعی مورد بحث قرار گرفته و سعی شده است تا در حد امکان پیشینه‌ی پژوهشی مناسبی ارائه گردد. در انتهای این فصل نیز زنجیره‌ی تامین معرفی می‌گردد. در فصل سوم روش‌پژوهش مورد بحث قرار می‌گیرد. درباره‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره، تکنیک AHP، رویکرد تحلیل توسعه‌چانگ و در نهایت درمورد پژوهش عملیاتی، برنامه‌ریزی خطی و همچنین مدل ریاضی توضیحاتی ارائه می‌گردد. در فصل چهارم ضمن توسعه‌ی یک مدل ریاضی از سیستم ساخت و تولید ابری مسئله‌ی نمونه‌ای از تولید خودرو با این سیستم تولیدی ارائه شده‌است. در فصل پنجم چالش‌های استفاده از فناوری IIoT شناسایی و طبقه‌بندی شدند. سپس با اخذ نظرات خبرگان در حوزه‌ی فناوری اطلاعات و ارتباطات و با استفاده از تکینک تصمیم‌گیری چندمعیاره چالش‌های پیش‌رو مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. و در نهایت فصل ششم پایان‌نامه به بحث و نتایج و پیشنهادات پرداخته شده‌است.

فصل دوم

ادبیات و پیشینه‌ی پژوهش

۲ـ۱ مقدمه

در فصل پیشین اشاره شد که زنجیره‌های تامین سنتی با چالش‌های متعددی مانند عدم‌اطمینان، هزینه، پیچیدگی و آسیب‌پذیری مواجه هستند. به‌منظور غلبه بر این مسائل، زنجیرهای تامین بایستی هوشمندتر عمل نمایند. در این راستا پژوهش حاضر اهیمت و جایگاه فناوری IoT را در زنجیره‌ی تامین صنعت تولید مورد واکاوی قرار می‌دهد و مفهوم تولید ابری را برای بهینه‌سازی یک مدل ساخت و تولید به کار می‌گیرد. همان‌طور که در فصل گذشته نیز شرح داده شد، در دنیای سریع و شدیدا رقابتی کسب‌وکارها، یک شرکت یا سازمان برای باقی‌ماندن در عرصه‌ی رقابت چاره‌ای جز بالا بردن سرعت ارائه‌ی محصول به بازار و کاستن از هزینه‌ها در راستای کاهش بهای محصول نهایی‌اشان ندارد. زیرا در فضایی رقابتی که رقبا در تلاش شدید برای افزایش سهم بازار هستند، جلب رضایت مشتری، عنصری بسیار ضروری برای موفقیت خواهد بود. شیوه‌های سنتی به کار گرفته‌شده در زنجیره‌های تامین و سیستم‌های تولیدی، از توان شرکت برای نیل به چنین موفقیتی می‌کاهد. از این رو شرکت‌هایی که خواهان داشتن جایگاه بیشتری در بازار هستند، در حال گذار از شیوه‌های سنتی به سمت مفاهیم هوشمندی قرار می‌گیرند. در این بخش با مرور ادبیات این حوزه‌ی جدید و بررسی پیشینه‌ی پژوهش و همچنین شرح مبسوط مفاهیم موردنیاز در هوشمندسازی زنجیره‌ی تامین، با موضوعات مطرح شده بیشتر آشنا خواهیم شد.

۲ـ۲ زنجیره‌ی تامین

یک زنجیره‌ی تامین، ارتباط درونی سازمان‌ها، منابع و فرآیندهایی که محصولات را تولید و به مشتری نهایی تحویل می‌دهند، برقرار می‌سازد. زنجیره‌ی تامین همه‌ی امکانات، عملکردها و فعالیت‌هایی که در تولید و تحویل یک محصول از عرضه‌کنندگان (و عرضه‌کنندگانشان) به مشتریان (و مشتریانشان) درگیر هستند را شامل می‌شود. همچنین زنجیره‌ی تامین، برنامه‌ریزی و مدیریت عرضه و به دست آوردن مواد اولیه‌ی تولیدی و زمان‌بندی محصولات، انبارداری، کنترل موجودی، توزیع، ارسال و تحویل و خدمت‌دهی به مشتریان را در بر خواهد گرفت. مدیریت زنجیره‌ی تامین همه‌ی این فعالیت‌ها را هماهنگ می‌کند، آن‌چنان که مشتریان می‌توانند با سرویس‌دهی قابل اعتماد و فوری، محصولات با کیفیت بالا را با کم‌ترین هزینه، تهیه نمایند[۵۸]. مدیریت زنجیره‌ی تامین شامل برنامه‌ریزی و مدیریت تمام فعالیت‌های دخیل در زمینه‌ی منبع‌یابی، تهیه و تدارک، تبدیل و همه‌ی فعالیت‌های مدیریت لجستیک است و همچنین شامل هماهنگی و هم‌کاری با شرکایی خواهد بود که می‌توانند جزئی از تامین‌کننده،

واسطه، سرویس‌دهندگان طرف سوم و یا مشتری باشند. در حقیقت، مدیریت زنجیره‌ی تامین یکپارچه‌سازی مدیریت عرضه و تقاضا در داخل و در بین شرکت‌ها می‌باشد[۱۲]. مدیریت زنجیره‌ی تامین، مدیریت همه‌ی فرآیندهای ساخت و تامین از مواد اولیه تا مشتری نهایی خواهد بود. یعنی فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل عملیات مرتبط با زنجیره‌ی تامین در بهینه‌ترین حالت ممکن[۵۹]. مدیریت زنجیره‌ی تامین موفق می‌تواند شرکتی با مزیت‌هایی قابل‌رقابت ایجاد کند. آن‌چه که فرآیند و مدیریت زنجیره‌ی تامین را پیچیده می‌سازد، عدم اطمینان در همه‌ی مراحل در طول زنجیره‌ی تامین است. عدم اطمینان به‌صورت پیش‌بینی‌های غلط، اطلاعات دیرهنگام، مشکلات حمل‌ونقل و از این قبیل، سبب ایجاد وقفه در زنجیره می‌گردد. وقفه در زنجیره‌ی تامین می‌تواند منجربه سرویس‌دهی ضعیف به مشتریان شود، یعنی عدم تحویل کالا یا خدمت در زمان و محل مناسب به مشتریان را موجب می‌گردد. شرکت‌ها به‌وسیله‌ی ذخیره‌ی اطمینان موجودی از عهده‌ی این عدم اطمینان برمی‌آیند. همه‌ی شرکت‌ها موجودی را برای حداقل نمودن اثر منفی عدم اطمینان و برای این‌که یک فرآیند روان، یک‌نواخت و سودمند را از سوی عرضه‌کنندگان به سوی مشتریان حفظ کنند، نگهداری می‌نمایند. اما به علت هزینه‌های بالای موجودی، شرکت‌ها تمایل دارند که موجودی را در مقدار حدقلی نگهداری کنند. بنابراین یک هدف مهم مدیریت زنجیره‌ی تامین، هماهنگ‌نمودن تمام فعالیت‌ها با محدودیت‌های گوناگون در طول زنجیره می‌باشد، به‌نحوی که بتوان کالاها را در هنگامی که موجودی نگهداری‌شده کم و هزینه‌ها پایین است در زمان موردنیاز در اختیار مشتریان قرار داد. مدیریت زنجیره‌ی تامین موثر ترجیح می‌دهد که تامین‌کنندگان با هم در یک سبک هماهنگ، با سهیم‌شدن در جریان آزاد اطلاعات، از طریق تعامل و صحبت با یک‌دیگر کار کنند. جریان سریع اطلاعاتی بین مشتریان، تامین‌کنندگان، مراکز توزیع و سیستم‌های حمل‌ونقل، شرکت‌ها را برای توسعه‌ی زنجیره‌ی تامین توانا می‌سازد. در یک زنجیره‌ی تامین توان‌مند تامین‌کنندگان و مشتریان با اهداف مشابه در کنار هم حضور داشته و هم‌کاری می‌کنند. مشتریان تمایل دارند که از کیفیت بالا و زمان‌بندی مناسب محصولات اطمینان یابند؛ بنابراین تامین‌کنندگان و مشتریان بایستی با هم در طراحی زنجیره‌ی تامین به‌جهت کسب اهداف مشترک و تسهیل ارتباطات و ایجاد جریان شفاف اطلاعات مشارکت نمایند[۵۸]. این امر در سفارشی‌سازی محصولات برای مشتریان و مصرف‌کنندگان نهایی که امروزه با رقابتی شدن فضای کسب‌وکار شاهد آن هستیم و مشتریان خواستار سفارشی‌سازی محصولات هستند، کمکی شایانی خواهد نمود.

۱ـ۲ـ۲ لجستیک در زنجیره‌ی تامین

یکپارچه‌سازی دو یا چند فعالیت به‌منظور برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و کنترل کاراییِ جریان مواد و محصولات از نقطه مبدا تا مصرف را مدیریت لجستیک[1] می‌نامند. در تحلیل سیستم‌های تولیدی، موضوع لجستیک بخش فیزیکی زنجیره تامین را در بر می‌گیرد. این بخش که کلیه‌ی فعالیت‌های فیزیکی از مرحله‌ی تهیه‌ی مواد خام تا محصول نهایی شامل فعالیتهای حمل‌ونقل، انبارداری، زمان‌بندی تولید و ... را شامل می‌شود، بخش نسبتا بزرگی از فعالیت‌های زنجیره‌ی تامین را به خود اختصاص می‌دهد. در واقع، محدوده‌ی لجستیک تنها جریان مواد و کالا نبوده بلکه محدوده‌ای برای فعالیت‌های زنجیره تامین است که روابط و اطلاعات، ابزارهای پشتیبان آن برای بهبود در فعالیت‌ها می‌باشند[۶۰]. لجستیک در یک زنجیره‌ی تامین قسمت بسیار مهمی از فرآیندهای این زنجیره است که به‌جهت پاسخ‌گویی به الزامات مشتریان وظایف برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل جریان محصولات و اطلاعات مربوطه را از یک نقطه‌ی شروع مشخص تا محل مصرف بر عهده خواهد گرفت.

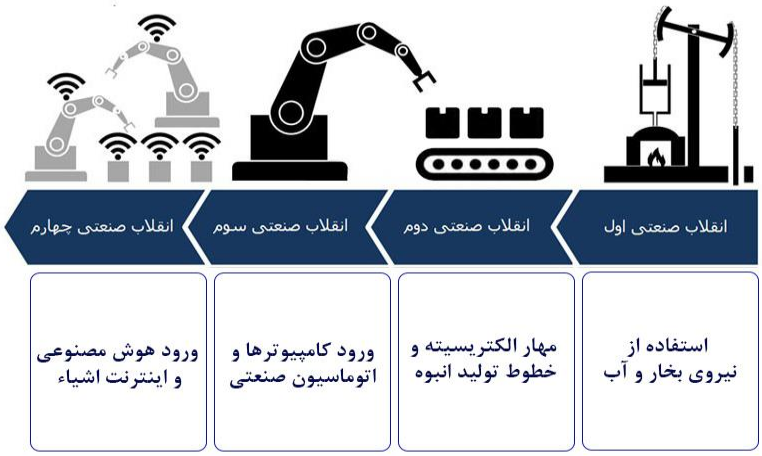
۲ـ۲ـ۲ تاثیر اینترنت بر زنجیره‌ی تامین

اینترنت بیشتر از هر چیز دیگری سرعت و قابلیت دسترسی به زنجیره‌ی تامین را افزایش داده است. امروزه با استفاده از اینترنت شرکت‌ها توانسته‌اند فعالیت‌های وقت‌گیر تجاری را با مرتبط ساختن معاملات خرید و سفارش و ارتباط مستقیم تامین‌کنندگان، کارخانه‌ها، توزیع‌کنندگان و مشتریان کاهش داده و یا حذف نمایند. اینترنت شرکت‌ها را قادرساخته‌است تا زمان طراحی محصول را کاهش‌دهند و سفارش و تحویل قطعات و مواد را سرعت ببخشند. استفاده از اینترنت در زنجیره‌ی تامین سبب می‌گردد مسیریابی‌ها به سرعت انجام شده و بازخورد آنی از بخش‌های مختلف زنجیره دریافت شود. اینترنت نقش‌های سنتی تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان را محو و واسطه‌های میان آن‌ها را حذف کرده است. با کمک اینترنت، اطلاعات در طول زنجیره‌ی تامین و با سرعت بالا در تمام جهت‌ها جریان می‌یابد و با امکان بازخوردگیری مداوم، اشتباهات و محاسبات نادرست کاهش و پاسخ‌گویی‌ها افزایش خواهد یافت. با کمک اینترنت، زنجیره‌ی تامین به‌صورت یک شبکه در خواهد آمد[۵۸].

1. Logistic Mnagement

۲ـ۳ انقلاب چهارم صعنتی

صنعت ۴/۰ به چهارمین انقلاب صنعتی[1] اشاره دارد که سه انقلاب صنعتی اول مربوط به قدرت مکانیکی (صنعت ۱/۰)، تولید انبوه (صنعت ۲/۰) و انقلاب دیجیتال (صنعت ۳/۰) را پشت سر گذاشته است[۱۳]. سه انقلاب صنعتی اول که به عنوان تولید مکانیکی شناخته می‌شوند، به ترتیب متکی بر نیروی بخارآب، استفاده از تولید انبوه به همراه انرژی الکتریکی و سرانجام استفاده از تولید خودکار و الکترونیکی می‌باشند[۱۴]، در حالی که چهارمین انقلاب صنعتی (صنعت ۴/۰) در سال ۲۰۱۱ در چارچوب اهداف توسعه‌ی اقتصادی آلمان پیشنهاد شده است[۱۵].



شکل(۱ـ۲) سیر انقلاب‌های صنعتی

سیستم‌های تولید در آینده با فناوری‌های تولیدی نوینی همراه و همچنین با فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطات هم‌گام خواهد شد که مفهوم فناوری اطلاعات، ارتباطات و تولید[2] نامیده می‌شود. انتظار می‌رود که ICPT در محیط‌های تولیدی آینده مانند کارخانه‌های هوشمند مورداستفاده قرارگیرد و شامل IoT ، تحلیل کلان داده‌ها[3]، رایانش ابری، سیستم‌های سایبر ـ فیزیکال[4]، هوش مصنوعی[5]، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده[6] و فناوری چاپ سه بعدی می‌باشد. ICPT به‌عنوان یک فناوری کلی با توان‌مندی‌هایی چون رویت‌پذیری، انعطاف‌پذیری، پاسخ‌گویی، یکپارچگی و خودکاربودن برای یک پارادایم تولیدی جدید استفاده می‌شود. چهارمین انقلاب صنعتی مرهون مشخصات و ویژگی‌های ICPT است. صنعت تولید می‌تواند با

1. Fourth industrial revolution
2. Information,Comunication and Production Technology(ICPT)
3. Big Data
4. Cyber-Physical Systems
5. Artificial Inteligence
6. Virtual Reality&Added Reality

پذیرش ICPT و تحقق آن در یک محیط تولیدیِ با قابلیت‌اتصال بالا، مانند تولید هوشمند، پیشرفت نماید. همه‌ی اجزا در کل یک زنجیره‌ی تامین قادر به درک وضعیت موجود در لحظه بوده و می‌توان محصول سفارشی مشتری را به شیوه‌ای منعطفی تولید کرد. این اجزا در زنجیره‌ی تامین همه‌چیز را از جمله اعضا و شرکای زنجیره، مدیران، کارکنان، امکانات، ماشین‌آلات، حمل‌ونقل‌ها، محصولات و غیره شامل خواهد شد. این اجزا توسط ICPT متصل، هم‌گرا و قابل هم‌کاری هستند. کارخانه‌ی هوشمند با استفاده از ICPT قادر به مدیریت اطلاعات و اجزای چندمنظوره است. کارکنان می‌توانند وضعیت و اطلاعات اجزا را از طریق AR و VR بررسی کنند، ماشین‌ها و تسهیلات و تجهیزات با هوش مصنوعی و روباتیک،کاملا اتوماتیک هستند و یک کارخانه‌ی هوشمند می‌تواند با استفاده از فناوری چاپ سه‌بعدی محصولات را راحت‌تر تولید نماید. لجستیک و خرده‌فروشی هوشمند می‌توانند محصولات و موجودی را در زنجیره‌ی تامین ردیابی کنند، اطلاعات بلادرنگ عملیات را جمع‌آوری نمایند، مسائل تصمیم‌گیری را بهینه‌سازی و با مشتریان ارتباط برقرار سازند. هدف چهارمین انقلاب صنعتی، ایجاد پیشرفت صنعتی به سوی کارخانه‌ا ی هوشمند است که با اجزای تولید شبکه‌شده و سیستم تولیدی کارآمد مجهز شده باشد[۱۶].

۱ـ۳ـ۲ واقعیت مجازی و واقعیت افزوده

فناوری VR فناوری‌ای است که در آن محیطی مجازی در جلوی چشمان کاربر قرار می‌گیرد و براساس حرکت سر و بدن با محیط مجازی تعامل برقرار می‌کند. به‌عبارت‌دیگر هنگامی که یک فرد هدست واقعیت مجازی را بر روی سر خود نصب می‌کند، در جلوی چشمان خود محیطی را مشاهده می‌نماید که براساس تغییر موقعیت بدنش تغییر می‌کند و ذهن انسان پس از مدتی می‌پذیرد که در یک محیط واقعی قرار گرفته است. یکی از کاربردهای مهم فناوری VR در صنعت گردش‌گری بوده، به‌این‌صورت که ویدئوها و یا تصاویری ۳۶۰ درجه و با کیفیت بالا از مکان‌های گردش‌گری و مهم تهیه می‌شود و افراد هزاران کیلومتر آن طرف‌تر می‌توانند با استفاده از هدست‌های واقعیت مجازی آن ویدئوها را آن‌گونه ببینند که گویی در همان جا قرار دارند و به هر طرف که بخواهند می‌توانند حرکت کنند. AR فناوری‌ای است که در آن تصویر سه بعدی یا اطلاعاتی به‌صورت متن یا تصویر بر روی تصویر زنده‌ای که از طریق دوربین دستگاه هوشمند مثل موبایل یا تبلت در حال نمایش است نشان داده می‌شود. همانند تصاویر گرافیکی از آنالیزهای فنی که هنگام پخش برنامه‌های ورزشی برای آگاهی بیشتر بینندگان تلویزیونی به‌صورت زنده روی صفحه قرار می‌گیرند.

واقعیت مجازی و واقعیت افزوده قادر هستند در فرآیند طراحی محصول مورد استفاده قرار گیرند. مدل مجازی طراحی شده با صحنه‌ی واقعی جهت دستیابی بهتر به شبیه‌سازی، تجزیه‌وتحلیل و مرور مدل محصول قبل از طراحی نهایی، ارتباط برقرار می‌کند. در فرآیندهای تولیدی، با فناوری‌های واقعیت VR و AR ، مراحل عملیاتی و فرآیندها می‌توانند به‌طور مستقیم به کارکنان مونتاژ به‌منظور افزایش کارایی تولید و کاهش خطا، ارائه شوند. شرکت غول نفت و گاز به نام TOTAL از نرم‌افزار VR شرکت زیمنس[1] با استفاده از یک محیط سه‌بعدی مجازی جهت آموزش به کارکنان خود برای تاسیسات دریایی استفاده می‌کند که ایمنی را افزایش داده و سودآوری را در تولید مواد خام به حداکثر می‌رساند. علاوه بر این، شرکت فورد موتور، استفاده از فناوری VR در فرآیند مونتاژ خودرو را تصدیق می‌کند و میزان آسیب تصادفی خط تولید را ۷۰ درصد کاهش می‌دهد[۶۱].

۲ـ۳ـ۲ سیستم‌های سایبر ـ فیزیکال

انقلاب چهارم صنعتی به وسیله‌ی وابستگی‌اش به استفاده از سیستم‌های سایبر ـ فیزیکال که قادر به برقراری ارتباط با یک‌دیگر و تصمیم‌گیری خودکار و غیرمتمرکز با هدف افزایش کارآیی، بهره‌وری، ایمنی و شفافیت صنعتی هستند، مشخص می‌شود[۱۷]. سیستم‌های سایبر ـ فیزیکال، شامل ماشین‌آلات، سیستم‌های ذخیره‌سازی و امکانات تولید است که می‌توانند به صورت خودکار اطلاعات را مبادله کرده، به‌صورت خودکار اقدام نموده و یکدیگر را نظارت نمایند[۱۸]. آن‌چه که مجموعه‌های CPS را از سیستم‌های ارتباطی و اطلاعاتی مرسوم (IT یا ICT) جدا می‌کند، ویژگی‌های بلادرنگ بودن تعاملاتشان با جهان فیزیکی است. سیستم‌های CPS و ICT هر دو اطلاعات و یا داده‌ها را پردازش می‌کنند، اما تمرکز CPS بر کنترل فرآیندهای فیزیکی است. CPS از سنسورها برای دریافت اطلاعات راجع به مواردی از جمله اندازه‌گیری‌ها، پارامترهای فیزیکی و محرک‌ها به‌منظور کنترل فرآیندهای فیزیکی استفاده می‌کند. CPS اغلب شامل درجه بالایی از خودمختاری است[۱۷].

شکل(۲ـ۲) سیستم سایبر ـ فیزیکال

1. SIEMENS

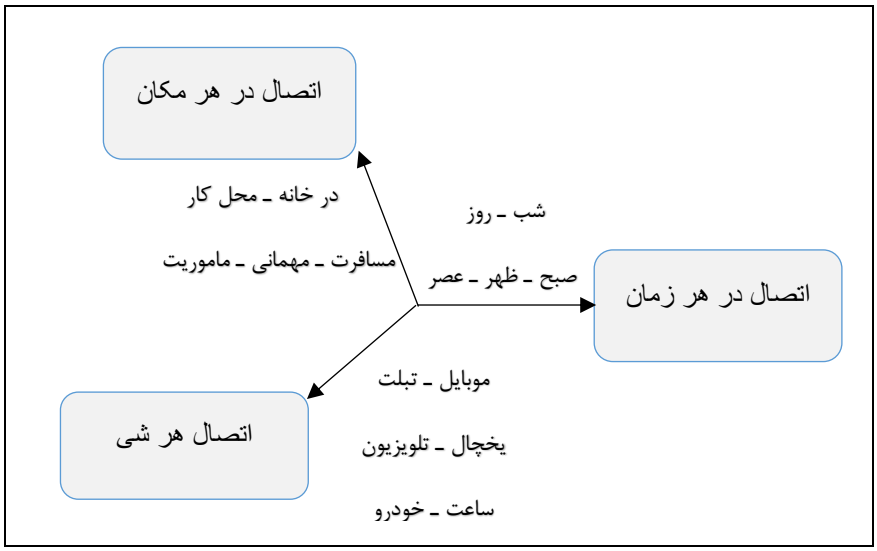
اینترنت اشیا پلت‌فرم مورد نیاز برای اتصال CPS را از طریق شبکه‌ای از سنسورها، محرک‌ها و دستگاه‌ها فراهم می‌آورد. پلتفرم‌های IoT به‌طور کلی از قابلیت‌های محاسبات ابری در مراکز خارجی پردازش داده‌ها استفاده می‌کنند که منجر به پیدایش مفهوم تولید ابری در زمینه‌ی صنعت ۴/۰ می‌شود. در اروپا و به ویژه آلمان، IoT یکی از فناوری‌های بنیادین صنعت ۴/۰ در بخش تولید است.

۲ـ۴ اینترنت اشیا

کوین اشتون، مدیر مرکز Auto-ID در MIT[1] اصطلاح IoT را در سال ۱۹۹۹معرفی کرده‌است[۱۹]. کوین اشتون جهانی را توصیف نمود که در آن هر چیزی، از جمله اشیای بی‌جان، برای خود هویت دیجیتال داشته باشند و به کامپیوترها اجازه دهند آن‌ها را سازمان‌دهی و مدیریت کنند. اینترنت، در حال حاضر همه‌ی مردم را به هم متصل می‌کند ولی با فناوری اینترنت اشیا تمام اشیا به هم متصل می‌شوند[۶۲].

اتحادیه بین المللی مخابرات یا همان ITU[2] مفهوم اینترنت اشیا را در سال ۲۰۰۵ به این شکل توضیح داد[۲۰]:

برای هر شی در هر زمان و در هر مکانی اتصال هوشمند وجود دارد.



شکل (۳ـ۲) مفهوم IoT

به هرجهت زمانی که اصطلاح اینترنت و اصطلاح اشیا در کنار هم قرار می‌گیرند، سطح مجزایی از یک مفهوم جدید در دنیای فناوری اطلاعات و ارتباطات را معرفی می‌کنند. اینترنت اشیا،

1. Massachusetts Institute of Technology
2.International Telecommunication Union

شبکه‌ی وسیعی از اشیای مرتبط، با قابلیت آدرس‌دهی منحصربه‌فرد (یکتا) براساس پروتکل‌های استاندارد ارتباطی است و این موضوع موجب می‌گردد که تعداد فراوانی از اشیای گوناگون بدون دخالت انسان با هم ارتباط برقرار نمایند[۶۳].

اینترنت اشیا به ارتباط بین اشیای فیزیکی اشاره می‌کند، که این اشیا به سنسورها، محرک‌ها و وسایلی برای اتصال به اینترنت مجهز شده‌اند و با نگاهی تکنولوژیکی، توسعه‌ی برنامه‌های کاربردی جدید و بهبود برنامه‌های موجود را محقق می‌سازد. نمونه‌هایی از برنامه‌های کاربردی IoT عبارتنداز : نظارت بر سلامت شخصی افراد از طریق پوشیدنی‌های هوشمندی چون ساعت هوشمند، گل خانه‌هایی که به‌جهت نظارت بر رشد محصولات زراعی، خود را با شرایط آب و هوایی درونی‌اشان وفق می‌دهند، اصطبل‌هایی که برنامه‌ی زمان‌بندی تغذیه‌ای و شیردوشی گاوها را نظارت می‌کنند.

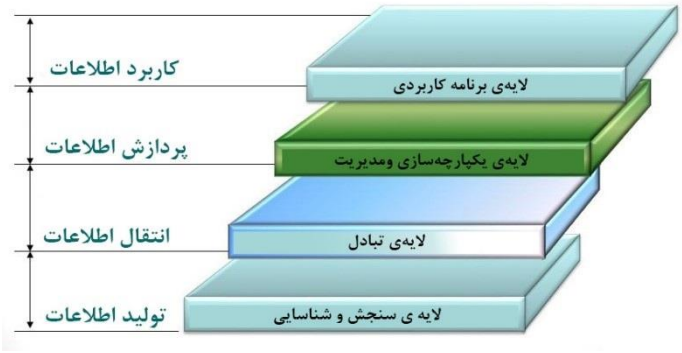
از دیدگاه یک کاربر خصوصی، آشکارترین اثرات معرفی IoT در دو زمینه‌ی کاری و خانگی مشهود است. در این زمینه، اتوماسیون خانگی(خانه‌ی هوشمند)، کمک به زندگی، سلامت الکترونیک، یادگیری پیشرفته، تنها مثال‌های اندکی از سناریوهای کاربردی ممکن هستند که در این پارادایم جدید، نقش رهبری را ایفا خواهند کرد. از منظر کاربران تجاری نیز، عواقب ظاهری ظهور IoT در زمینه‌هایی نظیر اتوماسیون و تولید صنعتی، لجستیک، مدیریت کسب‌وکار و مدیریت فرآیند، حمل‌ونقل هوشمند افراد و کالاها قابل مشاهده می‌باشد[۶۳].

میوراندی و هم‌کاران [۲۲] سه ویژگی اصلی در اینترنت اشیا را به شرح زیر خلاصه می‌کنند :

۱ـ هر شی بتواند ارتباط برقرار نماید : اشیای هوشمند توانایی برقراری ارتباطات بی‌سیم در میان خود و ایجاد شبکه‌های خاصی از اشیای به هم متصل را دارند. ۲ـ هر شی بتواند شناسایی گردد : اشیای هوشمند با یک نام دیجیتالی شناسایی می‌شوند؛ روابط میان اشیا در هر زمانی که اتصالات فیزیکی قابل برقرارشدن نباشد، می‌تواند در یک حوزه‌ی دیجیتالی مشخص شود. ۳ـ هر شی قادر به تعامل باشد: اشیای هوشمند می‌توانند با محیط محلی از طریق حس‌گر ارتباط تعاملی داشته باشند.

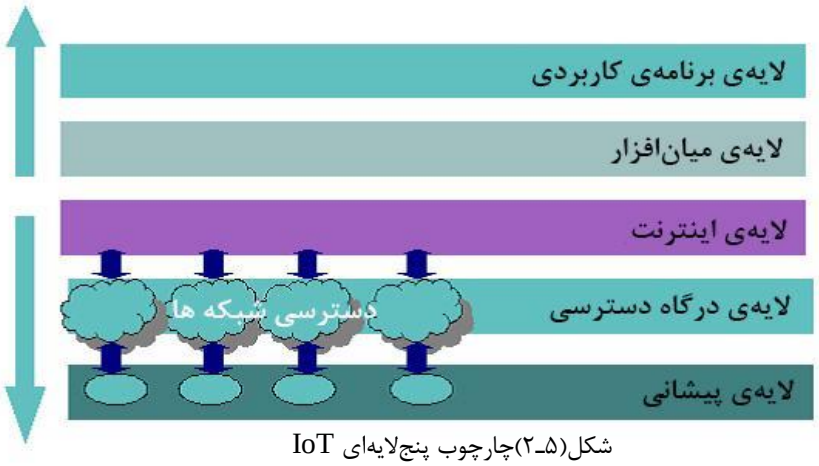
البته باید ذکر کرد که اشیا در بستر IoT قادر به تعامل از راه دور و انتقال اطلاعات خواهند بود و تعاملات در محیط‌هایی محلی اشیا محدود نمی‌شوند چرا که اینترنت همیشه به‌دنبال ارتباطات از راه دور بوده است و IoT نیز این رسالت را حفظ کرده است.

معماری اینترنت اشیا را Ma در سال ۲۰۱۱ به چهار لایه تقسیم کرد[۲۳] : ۱ـ لایه حس‌گر شی : وظیفه‌ی حس‌کردن اشیای فیزیکی و به‌دست آوردن داده‌های آن‌ها را برعهده دارد؛ ۲ـ لایه تبادل داده : انتقال کارآمد و امن داده‌های اشیا را انجام می‌دهد؛ ۳ـ لایه یکپارچه‌سازی اطلاعات : وظیفه‌ی پردازش اطلاعات نامطمئن به‌دست‌آمده از شبکه‌ها و تبدیل آن به اطلاعات قابل‌استفاده را دارا می‌باشد و ۴ـ لایه برنامه‌ی کاربردی : سرویس‌هایی با محتوای خاص، براساس پردازش اطلاعات کاربران مختلف را ارائه می‌کند.



شکل(۴ـ۲) چارچوب چهارلایه‌ای IoT

پیاده‌سازی IoT بر اساس معماری متشکل از چندلایه (از لایه‌ی پایینی کسب اطلاعات تا لایه‌ی فوقانی که برنامه‌ی کاربردی) می‌باشد. معماری لایه‌ای باید به‌شکلی طراحی شود که بتواند نیازهای صنایع مختلف، شرکت‌ها، سازمان‌ها، موسسات، دولت‌ها و غیره را برآورده سازد. معماری لایه‌ای عمومی برای IoT در شکل زیر ارائه شده است. معماری لایه‌ای دارای دو تقسیم‌بندی مجزا با یک لایه‌ی اینترنت (با هدف ایجاد ارتباطات) در بینشان می‌باشد. دو لایه‌ی پایینی در جمع‌آوری داده‌ها کمک می‌کنند در حالی که دو لایه‌ی بالایی مسئول استفاده از داده‌ها در برنامه‌های کاربردی هستند[۲۴].



شکل(۵ـ۲)چارچوب پنج‌لایه‌ای IoT

- لایه‌ی لبه (پیشانی) : این لایه‌ی سخت‌افزاری از شبکه‌های حس‌گر، عمل‌گرها، سیستم‌های تعبیه‌شده، تگ[1] RFID و تگ‌خوان[2] در شکل‌های گوناگون تشکیل شده است. بسیاری از این عناصر سخت‌افزاری، فضای شناسایی و ذخیره‌سازی اطلاعات (به عنوان مثال تگ RFID)، جمع‌آوری اطلاعات (به عنوان مثال شبکه‌های حس‌گر[3])، پردازش اطلاعات (مانند پردازنده‌های تعبیه‌شده)، ارتباطات، کنترل و فعال‌سازی را فراهم می‌آورند.
- لایه‌ی درگاه دسترسی : مرحله‌ی نخست از داده‌گردانی‌ها در این لایه رخ می‌دهد. مسیریابی پیام‌ها، انتشار و تصدیق آن‌ها را انجام می‌دهد و همچنین در صورت لزوم ارتباطات برقرار می‌سازد.
- لایه‌ی میان‌افزار : این یکی از مهم‌ترین لایه‌هایی است که در حالت دوطرفه عمل می‌کند و به عنوان یک رابط بین لایه‌ی سخت‌افزاری در پایین و لایه‌ی کاربرد در بالا عمل می‌نماید. این لایه مسئول کارکردهای مهمی چون مدیریت دستگاه و مدیریت اطلاعات و همچنین مراقبت از مسائلی مانند فیلترکردن داده‌ها، جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل معنایی، کنترل دسترسی، کشف اطلاعات مانند کد الکترونیکی محصول(EPC) و سرویس نام‌گذاری شی می‌باشد.
- لایه‌ی برنامه کاربردی : این لایه در بالای همه‌ی لایه‌ها قرار دارد و مسئول تحویل برنامه‌های گوناگون به کاربران مختلف در IoT است. برنامه‌های کاربردی می‌توانند از صنایع مختلفی

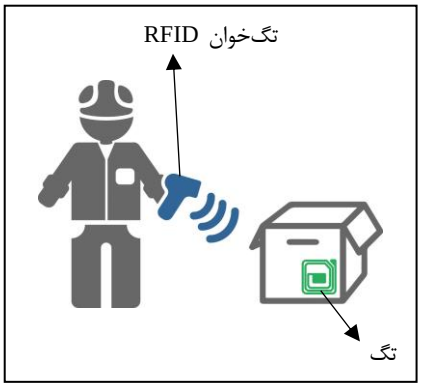
1. RFID Tag
2. Tag reader
3. Sensor Networks

مانند تولید، لجستیک، خرده‌فروشی، محیط زیست، امنیت عمومی، مراقبت‌های بهداشتی، مواد غذایی و ... باشد.

اینترنت اشیا یک مفهوم رایانشی است که اتصال همه‌جایی به اینترنت و تبدیل اشیای معمولی به دستگاه‌های متصل را توصیف می‌کند. ایده‌ی اصلی مفهوم IoT این است که میلیاردها یا حتی تریلیون‌ها اشیای هوشمند را که قادر به حس‌کردن محیط اطرافشان هستند مستقر ساخته، داده‌های به دست آمده را پردازش و منتقل سازد و سپس از محیط بازخوردگیری نماید[۴۲]. با استفاده از IoT، انواع داده‌های موردنیاز (به‌عنوان مثال اطلاعات صدایی، نوری، گرمایشی و سرمایشی، برقی، مکانیکی، شیمیایی، زیستی، مکانی و زمانی) می‌توانند در زمان واقعی توسط تکنیک RFID، سیستم موقعیت‌یابی جهانی(GPS)، سنسورها، سنسورهای مادون قرمز، اسکنر لیزری، سنسورهای گاز و دیگر دستگاه‌ها، کسب شوند. در واقع مفهوم اینترنت اشیا از سیستم شناسایی فرکانس رادیویی که در اواخر قرن بیستم توسط مرکز Auto-ID در MIT پیشنهاد شده بود، نشات گرفت[۲۰].

۱ـ۴-۲ شناسایی فرکانس رادیویی

شناسایی از طریق امواج رادیویی یا همان RFID[1] بیان‌گر سیستم هایی است که از امواج رادیویی جهت انتقال اطلاعات، شناسایی و تعیین هویت یک شی و یا هر چیز دیگر استفاده می‌کنند. در واقع RFID ، یک سامانه‌ی شناسایی بی‌سیم است که قادر به تبادل داده‌ها به وسیله‌ی برقراری اطلاعات بین یک تگ که به یک کالا، شی، کارت، پالت انبار، کامیون و کانتینر و... متصل شده‌است و یک تگ‌خوان می‌باشد. سامانه‌های RFID از سیگنال‌های الکترونیکی و الکترومغناطیسی برای خواندن و نوشتنِ بدون تماسِ داده‌ها استفاده می‌کنند.



شکل(۶ـ۲) فناوری RFID

1. Radio-Frequency Identifiction

تگ از یک ریزتراشه یا همان میکروچیپس تشکیل شده است که به اشیا می‌چسبد و یک حافظه‌ی داخلی مشخصی دارد که اطلاعاتی درباره‌ی شی مثل شناسه‌ی منحصر به فرد و یا اطلاعات بیشتری شامل اطلاعات تولیدکننده و یا اطلاعات خاص محصول، در خود ذخیره کرده است؛ وقتی تگ در محلی که یک تگ‌خوان آن را پوشش داده است قرار می‌گیرد، اطلاعات خود را به سوی خواننده باز می‌فرستد. در نتیجه شی شناسایی می‌گردد[۶۰].

در مقایسه با تگ‌های RFID که در آن‌ها یک ریزتراشه‌ی کوچک رادیویی گنجانده شده، برچسب‌های بارکد، تکه‌هایی از کاغذ هستند که قطر خطوط سیاه رنگ آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. تگ‌خوان‌ها و پویش‌گرهای بارکد به روش‌های متفاوت، برچسب‌های ضمیمه شده به کالاها را می‌خوانند. پویش‌گر بارکد، برچسب‌های چاپ شده‌ای را می‌خواند که حاوی اطلاعات شناسایی یک محصول، کالا یا محموله باشد ولی تگ‌های RFID می‌توانند دربرگیرنده‌ی اطلاعاتی در مورد محل انتقال فیزیکی محصولات، نحوه و زمان ردیابی آن‌ها در زنجیره تامین باشند. یکی دیگر از تفاوت‌ها این است که تگ‌خوان RFID حوزه بسامد رادیویی به وجود می‌آورد این در حالی است که پویش‌گر بارکد برای برقراری ارتباط با برچسب بارکد فقط از خط دید استفاده می‌کند. تگ‌های RFID را می‌توان به‌صورت یک‌جا خواند (برای مثال تا ۵۰ برچسب در هر ثانیه) در حالی که در هر زمان می‌توان فقط یک برچسب بارکد را خواند. تگ‌های RFID تا زمانی که از کالاها جدا نشوند یا تحت تاثیر مواد مضر قرار نگیرند کارآمد بوده و در هنگام انتقال کاملا قابل رویت هستند. انتهای ضمیمه‌شده به این برچسب‌ها باید در جهت صحیح قرار بگیرند زیرا برخی از آن‌ها نمی‌توانند به آسانی علائم امواج رادیویی را دریاف کنند. برچسب‌های بارکد بر خلاف تگ‌های RFID قابل‌برنامه‌ریزی نیستند. هنگامی که اطلاعات بر روی برچسب چاپ شد نمی‌توان آن را تکمیل نمود یا مجدداً نوشت. بدین معنا که نمی‌توان بارکدها را برای افزودن اطلاعات جدید مجددا چاپ کرد. برچسب‌های بارکد یک‌بار چاپ می‌شوند و نمی‌توانند در برگیرنده‌ی اطلاعات مربوط به آن‌چه که در زمان انتقال کالا در زنجیره تامین رخ داده شده باشند. این برچسب‌ها فاقد اطلاعات ردیابی بوده و فقط در بر گیرنده اطلاعات مربوط به محصول و تولیدکننده هستند[۶۰].

۲ـ۴ـ۲ نمونه‌هایی از کاربرد استفاده از اینترنت اشیا

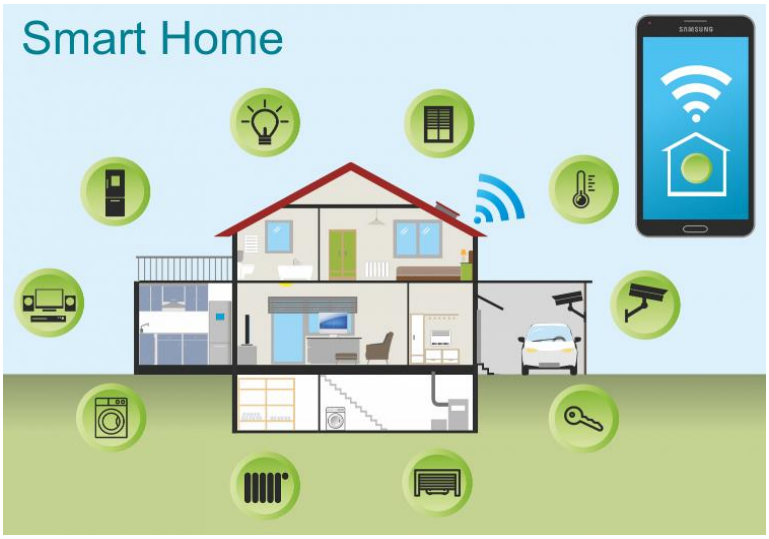
- حمل‌ونقل هوشمند : ارتباطات وسیله نقلیه با وسیله نقلیه[1] و وسیله نقلیه با زیرساخت[2] باعث پیشرفت اپلیکیشن‌های حمل‌ونقل هوشمند مانند مدیریت ترافیک می‌شود و در زیرساخت‌های IoT ادغام خواهد شد.

1. Vehicle to Vehicle
2. Vehicle to Infrastructure

شکل(۷ـ۲) حمل‌ونقل هوشمند

عملیات خودکارسازی فرآیند ورود و خروج اتومبیل‌ها در پارکینگ‌ها و تشخیص خودروهای مجاز و غیرمجاز و همچنین کسب اطلاع از تعداد خودروهای موجود در پارکینگ از دیگر کاربردهای مهمی می‌باشد که این کار از طریق اختصاص تگ‌های مجزا به هر یک از خودروها و شناسایی خودروها به وسیله آنتن‌های تعبیه شده در گیت‌ها و ... امکان‌پذیر است. زمانی که یک تانکر به ایستگاه سوخت‌گیری نزدیک می‌شود، با استفاده از تگ‌های RFID تعبیه شده بر روی یک تانکر، تگ‌خوان‌ها مجوز دسترسی را بررسی می‌کنند و در صورتی که به‌عنوان یک تانکر مجاز تشخیص داده شود، راننده قادر به سوخت‌گیری خواهد بود. به محض اینکه تانکر نفت‌کش از ایستگاه خارج شد، دستگاه پمپاژ بنزین بسته و اطلاعات مربوط به تانکر و توزیع بنزین از جمله شماره پلاک، نوع حمل‌کننده، مقدار بنزین زده‌شده، تاریخ و زمان سپری‌شده در سوخت‌گیری بلافاصله به سیستم مرکزی شرکت تانکر و پالایشگاه ارسال می‌شود. در نتیجه مسیر تانکرها و سوخت‌گیری مجدد آن‌ها قابل‌کنترل است، به‌علاوه هیچ نفت‌کشی نمی‌تواند مقدار مازاد بر سهمیه خود سوخت‌گیری کند. در عوارضی‌ها نیز پرداخت غیرنقدی و بدون توقف صورت خواهد گرفت[۲۴] و [۶۰].

- خانه‌ی هوشمند : مهم‌ترین تفاوت خانه‌های هوشمند با خانه‌ی معمولی، قابلیت‌اتصال است. چیزی که خانه‌ی هوشمند را از خانه‌ی معمولی متمایز می‌کند، مجموعه‌ای از لوازم و تجهیزات در خانه است که قادرند با یک‌دیگر ارتباط برقرار کرده و تحت هدایت یک ابزار کنترلی مرکزی به‌صورت هماهنگ و یک‌پارچه کار کنند. در یک خانه‌ی هوشمند تمامی لوازم خانگی مجهز به اینترنت اشیا از قبیل تلویزیون، یخچال، لباس‌شویی و ...، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، درب‌بازکن و سیستم های امنیتی، سیستم‌های روشنایی و همه و همه می‌توانند به یک سیستم اتوماسیون خانگی متصل شوند و به این ترتیب کنترل همه‌ی آن‌ها از یک نقطه در داخل منزل یا هر نقطه در خارج از خانه امکان‌پذیر خواهد بود.



شکل(۸ـ۲) خانه‌ی هوشمند

- پزشکی و مراقبت‌های بهداشتی : IoT ، اپلیکیشن‌های بسیاری در بخش مراقبت‌های بهداشتی با امکان استفاده از تلفن همراه با قابلیت‌های سنسور RFID به‌عنوان یک پلت‌فرم برای نظارت بر پارامترهای پزشکی و تحویل دارو در اختیار دارد. مزیت حاصله در پیشگیری و نظارت آسان بر بیماری‌ها، تشخیص به‌موقع و ارائه‌ی مراقبت‌های فوری پزشکی در هنگام تصادفات می‌باشد. دستگاه‌های بی‌سیم هوشمند تعبیه‌شده در بافت‌های بدن مثل ایمپلنت‌ها می‌توانند به عنوان انبار پرونده‌های سلامت استفاده شوند که قادرند تا اطلاعات زندگی بیمار را در شرایط اضطراری، به ویژه برای افراد مبتلا به دیابت، سرطان، بیماری‌های قلبی عروقی، سکته مغزی، بیماری مزمن انسدادی ریه، اختلالات شناختی، اختلالات تشنج و بیماری آلزایمر ذخیره‌سازی کنند. تراشه‌های خوراکی و زیست‌تجزیه‌پذیر را می‌توان برای اقدامات هدایتی در بدن انسان قرار داد. مسواک‌های مجهز به بلوتوث با کمک برنامه‌های کاربردی تلفن‌های هوشمند اطلاعات مسواک زدن افراد را ثبت می‌کنند و بر اساس آن می‌توان عادات مسواک‌زدن فرد را به عنوان اطلاعات شخصی بررسی کرد یا آمارها را با دندان‌پزشک به اشتراک گذاشت. ورزش‌کاران قادرند با استفاده از ساعت یا کفش هوشمند وزن، ساعت خواب، ساعت تمرین، فشار خون، مصرف کالری روزانه و دیگر پارامترهای مهم را دائما بررسی نمایند[۲۴] و [۶۴]. قوطی‌های هوشمند مجهز به IoT زمان و میزان مصرف و مقدار باقی‌مانده را هشدار می‌دهد. از طریق اینترنت این قوطی‌های هوشمند به ساعت یا تلفن هوشمند فرد بیمار یا پرستارش متصل می‌شود.
- صنعت دارو : برای محصولات دارویی، امنیت و ایمنی بالاترین اهمیت است. در پارامتر IoT، برچسب‌های هوشمند الصاق شده به دارو، ردیابی آن‌ها از طریق زنجیره‌ی تامین و همچنین نظارت بر وضعیتشان با سنسورها مزایای بالقوه بسیاری خواهد داشت. اقلامی که نیاز به شرایط خاصِ ذخیره‌سازی دارند، برای مثال نگهداری در فضایی خنک، می‌توانند به طور مداوم نظارت شده و اگر شرایط موردنیاز در هنگام حمل نقض گردد، دور ریخته شوند. ردیابی دارو و شجره‌نامه‌های الکترونیکی تشخیص محصولات جعلی را ممکن می‌سازد. برچسب‌های هوشمند در مورد داروها همچنین می‌توانند مستقیما به بیماران، برای مثال در اطلاع‌رسانی به مصرف‌کنندگان از مقدار مصرف و تاریخ انقضا و اطمینان از صحت دارو کمک کنند.

کابینت‌های پزشکی هوشمند که اطلاعات فرستاده شده توسط برچسب داروها را می‌خواند، قادرند تا به بیماران یادآور شوند که داروها را در فواصل زمانی مناسب دریافت کنند[۲۴].

- خرده‌فروشی و لجستیک : با اقلام مجهز به RFID و قفسه‌های هوشمند، یک خرده‌فروش می‌تواند به‌صورت خودکار رسید کالاها را بررسی نماید، موجودی را بلادرنگ نظارت کند، موجودی خارجی را ردیابی کرده و سرقت از فروشگاه را تشخیص دهد. در یک فروشگاه خرده فروشی، IoT پتانسیل زیادی فراهم خواهد کرد؛ چون فروش ازدست‌رفته در هنگام خالی بودن قفسه‌ها را شناسایی می‌کند و همچنین در کنترل سرقت‌ها بسیار موثر است. علاوه بر این، IoT می‌تواند با ایجاد داده‌ها از فروشگاه‌های خرده‌فروشی به بهینه‌سازی لجستیک کل زنجیره تامین کمک نماید. راهنمایی در مغازه با توجه به لیست خرید از پیش انتخاب شده، راه حل‌های سریع پرداخت مانند چک‌کردن خودکار با استفاده از مشخصات بیومتریک و بازاریابی شخصی از دیگر برنامه‌های کاربردی IoT می‌باشد. اگر تولیدکنندگان اطلاعات مربوط به موجودی و فروش خرده‌فروشان را بدانند، می‌توانند مقادیر مناسبی از محصولات را تولید و حمل نمایند، بنابراین از تولید بیش از حد یا کمبود تولید اجتناب می‌شود. انبارداری هوشمند برای کنترل موجودی و تسهیل مکان‌یابی اتفاق بسیار مطلوب برای سازمان‌های تولیدی و همچنین خرده‌فروشان خواهد بود[۲۴] و [۶۰].
- صنعت ساخت و تولید : با مرتبط‌کردن اقلام تولیدی به وسیله‌ی فناوری اطلاعات یا از طریق دستگاه‌های هوشمند تعبیه‌شده و یا از طریق استفاده از شناسه‌های منحصربه‌فرد که قادرند با یک زیرساخت شبکه‌ای هوشمند و سیستم‌های اطلاعاتی ارتباط برقرار نمایند، فرآیندهای تولید می‌تواند بهینه شده و کل چرخه‌ی عمر از تولید تا دفع محصول نظارت شوند. با الصاق برچسب به اقلام و کانتینرها، شفافیت بیشتری را در مورد وضعیت کف کارگاه، مکان و وضعیت محموله‌ها و وضعیت ماشین آلات تولیدی می‌توان بدست‌آورد. اطلاعات دقیق حاصله، به عنوان داده‌های ورودی برای زمان‌بندی‌های تولید استفاده می‌شود. تولید خودسازمان‌دهنده[1] و هوشمند برای اقلامی که قابلیت شناسایی دارند طراحی و ارائه شده است[۲۴]. دستگاه‌ها و ماشین‌آلات مجهز به اینترنت، قابلیت ارتباطی در بین خودشان را پیدا خواهند کرد و این ارتباط تنظیم توالی تولید محصول، انتقال اطلاعات گوناگون و کنترل خط تولید را خودکار خواهد ساخت.

1. self-organizing

شکل(۹ـ۲) لجستیک هوشمند

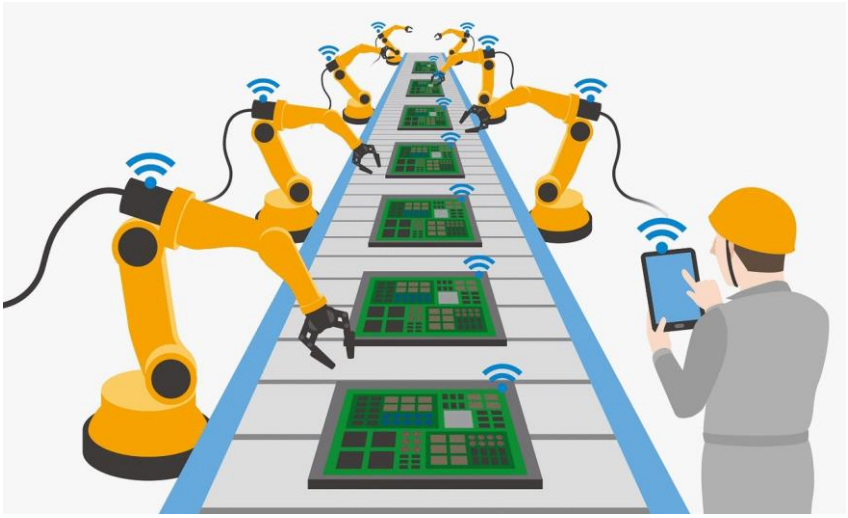
- صنعت خودور : برنامه‌های کاربردی در صنعت خودرو شامل استفاده از اشیای هوشمند به‌منظور نظارت و گزارش‌دهی پارامترهای مختلفی از فشار در لاستیک چرخها گرفته تا هشدار نزدیکی با دیگر وسایل نقلیه می‌باشد. فناوری RFID برای هموارسازی تولید وسایل نقلیه، بهبود لجستیک، افزایش کنترل کیفیت و بهبود سرویس مشتری استفاده می‌شود. تگ‌های متصل به قطعات حاوی اطلاعات مربوط به نام سازنده و زمان و محل تولید، شماره سریال، نوع، کد محصول، و در برخی از برنامه‌های کاربردی مکان دقیق را نیز شامل می‌شود. فناوری RFID اطلاعات بلادرنگ در فرآیندهای تولیدی، عملیات تعمیر و نگهداری را فراهم می‌آورد. در صنعت خودروسازی با توجه به تعداد بسیار زیاد قطعات مورد استفاده در خودرو و همچنین وجود تامین‌کنندگان مختلف، بدست آوردن اطلاعات دقیق، شفاف و لحظه‌ای از قطعات ضروری به نظر می رسد. بنابراین با استفاده از فناوری RFID در زنجیره‌ی تامین صنعت خودروسازی و بهره‌گیری از مزایای این فناوری، می‌توان در هزینه و زمان تولید صرفه‌جویی کرد[۲۴] و [۶۰]. اتوموبیل‌های نسل آینده‌ی مجهز به اینترنت نیازی به سوئیچ نداشته و از راه دور قابلیت خاموش و روشن‌شدن با دستگاه‌های هوشمند مثل تلفن همراه را خواهند داشت.

۲ـ۵ اینترنت اشیای صنعتی

یک هم‌پوشانی قابل توجهی بین صنعت ۴/۰ توسعه داده‌شده در آلمان و اینترنت صنعتی نشات گرفته از آمریکا وجود دارد. اینترنت صنعتی شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا از حس‌گرها، نرم‌افزارها، یادگیری ماشین به ماشین[1] و سایر فناوری‌ها برای جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌های اشیای

1. Machin to Machin learning

فیزیکی یا دیگر جریان‌های داده‌ایِ بزرگ استفاده نمایند و سپس از آن تجزیه‌وتحلیل‌ها به‌منظور مدیریت‌کردن عملیات صنعتی و در بعضی موارد برای ارائه‌ی سرویس‌های جدید و ارزش افزوده بهره‌می‌برند. IIoT سیستمی است شامل اشیای هوشمند شبکه‌شده، دارایی‌های سایبر ـ فیزیکال، فناوری‌های اطلاعات عمومی مرتبط و پلت‌فرم‌های ابری، که دسترسی بلادرنگ و هوشمند و مستقل، جمع‌آوری، تجزیه‌وتحلیل، برقراری ارتباط و تبادل اطلاعاتِ فرآیند، محصول و یا سرویس‌ها را در محیط صنعتی، به‌منظور بهینه‌سازی ارزش کلی تولید، ممکن می‌سازد. این ارزش ممکن است شامل بهبود در تحویل محصول یا سرویس‌دهی، افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های نیروی کار، کاهش مصرف انرژی و کاهش چرخه‌ی ساخت سفارش باشد. [۱۷].



شکل(۱۰ـ۲) اینترنت اشیای صنعتی

اینترنت اشیای صنعتی که پایه‌ی اصلی تولید دیجیتال است، در مورد اتصال تمام دارایی‌های صنعتی، از جمله ماشین‌آلات و سیستم‌های کنترل، با سیستم‌های اطلاعاتی و فرآیندهای کسب‌وکار می‌باشد[۲۵]. هدف IIoT این است که شبکه‌ای از حضور همه‌جایی را در محیط‌های صنعتی براساس فناوری حس‌گر قابل اعتماد، شبکه‌ی کامپیوتری، ارتباطات بلادرنگ و تحلیل کلان‌داده‌ها به دست آورد. علاوه بر این، با IIoT می‌توان به پارامترهای مهم فرآیند تولیدی جهت بهینه‌سازی مدیریت تولید و بهبود بهره‌وری تولید با هزینه‌ای پایین‌تر، با شیوه‌ای راحت‌تر و قابلیت کاربردی بالاتر، که نمی‌توان در خط تولید سنتی تولید به‌دست‌آورد، دست یافت[۲۶]. IIoT دستگاه‌ها را به وسیله‌ی نرم‌افزارهای ارتباطاتی به هم متصل می‌کند و سیستمی یک‌پارچه‌ای تشکیل می‌دهد که اجزای آن می‌توانند فعالیت‌های گوناگونی نظیر نظارت،

جمع‌آوری، تبادل، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها را بدون دخالت انسانی در جهت تغییر هوشمندانه‌ی رفتار یا محیطشان انجام دهند.

۲ـ۶ اینترنت اشیا در زنجیره تامین

هدف از به‌کارگیری IoT در مدیریت زنجیره‌ی تامین، ایجاد ارتباط بین عاملان و فرآیندهای زنجیره، شناسایی کالاها به‌صورت خودکار، ردیابی جریان محصولات در هرمرحله از فرآیند تولید و توزیع، فراهم‌کردن اطلاعات کاملی از فرآیندها و دستیابی به شفافیت حداکثری می‌باشد.

اگرچه هنوز معماری مشخص و یک‌نواختی در مورد IoT وجود ندارد، اما این فناوری جدید در زمینه‌های کاربردی مختلفی مانند خانه‌های هوشمند یا ساختمان‌های هوشمند، شهرهای هوشمند، کسب‌وکار هوشمند، مدیریت موجودی و مدیریت محصول هوشمند، مراقبت‌های بهداشتی، نظارت بر محیط زیست، پایش و امنیت اجتماعی و غیره استفاده شده است. به‌ویژه این که، IoT مدیریت فرآیند تولید و زنجیره‌ی تامین را با هدف ساخت و تولید هوشمند، به شکل اساسی تغییر داده است[۲۰].

پس از پیاده‌سازی فناوری‌های RFID، شرکت وال‌مارت و شرکت Procter & Gamble به‌طور هم‌زمان میزان موجودی را ۷۰ درصد کاهش دادند و در نتیجه سطح سرویس‌دهی آن‌ها از ۹۶ درصد تا نزدیک به ۹۹ درصد افزایش یافت که از لحاظ درآمدی هم میزان قابل‌توجهی محسوب می‌گردد. این مورد همچنین به کاهش هزینه‌های اداری مختلف از طریق طراحی مجدد فرآیندهای زنجیره‌ی تامین کمک کرد[۱۲]. مزایای مدیریت زنجیره‌ی تامین به وسیله‌ی ادغام و استفاده از «فناوری اطلاعات و ایجاد سیستم‌های اطلاعاتی یکپارچه‌ی زنجیره تامین» محقق می‌گردد[۲۷].

توسعه‌ی سریع لجستیک مدرن، از پلت‌فرم مبتنی بر فناوری RFID استفاده کرده است. فناوری RFID یک راه حل ساده، ارزان و ایمن می‌باشد. IoT می‌تواند فراتر از این هم برود، زیرا قادر است جریان دقیقی از اطلاعات محصولات را در بازار فراهم نماید تا مبنای قابل‌اعتمادی برای تجزیه‌وتحلیل، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری در لجستیک فراهم آید[۲۸]. به‌دلیل قابلیت سیستم‌های RFID در شناسایی و ردیابی قطعات مختلف و همچنین ارائه‌ی اطلاعات لحظه‌ای و در دسترس از فرآیندها و قطعات، این فناوری می‌تواند باعث بهبود عملکرد و کاهش زمان و هزینه‌های تولید در صنایع مختلف گردد. با توجه به این‌که مدیریت اطلاعات یکی از فرآیندهای

اصلی و حیاتی در مدیریت زنجیره‌ی تامین می‌باشد و نقش تعیین کننده‌ای در موفقیت زنجیره‌ی تامین داراست؛ لذا فناوری RFID می‌تواند در بهبود عملکرد و بالابردن کارآیی این زنجیره تاثیرگذار باشد[۶۰].

IoT اجازه می‌دهد تا فاصله‌ی زمانی بین ضبط داده‌ها و یک تصمیم‌گیری که زنجیره‌های تامین را قادر به واکنش در برابر تغییرات سازد، کاهش یافته و به سطوح بالایی از چابکی و پاسخ‌گویی که هرگز قبل از آن تجربه نشده است، برسد. تولیدکنندگان، تامین‌کنندگان و مشتریان باید زنجیره‌ی تامین هوشمند آینده را درک نمایند و بپذیرند که در آینده فرآیندهای متعدد پیچیده، ماشین‌آلات و اجزا به‌صورت یک‌پارچه کار خواهند کرد. این امر نیازمند مفاهیم عملیاتی مختلفی برای بهینه‌سازی و ایجاد هم‌افزایی بین انسان و ماشین‌آلات هوشمند به جهت افزایش کارایی و کاهش زمان ورود محصول به بازار می‌باشد. تولید ابری و تسهیم منابع تولیدی در رسیدن به چنین کارایی و سرعت بالایی نقش مهمی ایفا خواهد کرد. اینترنت اشیا بازیگران زنجیره‌ی تامین را به هم متصل ساخته و تولید ابری منابع بازیگران یک زنجیره‌ی تامین را در طول زنجیره به اشتراک خواهد گذاشت.

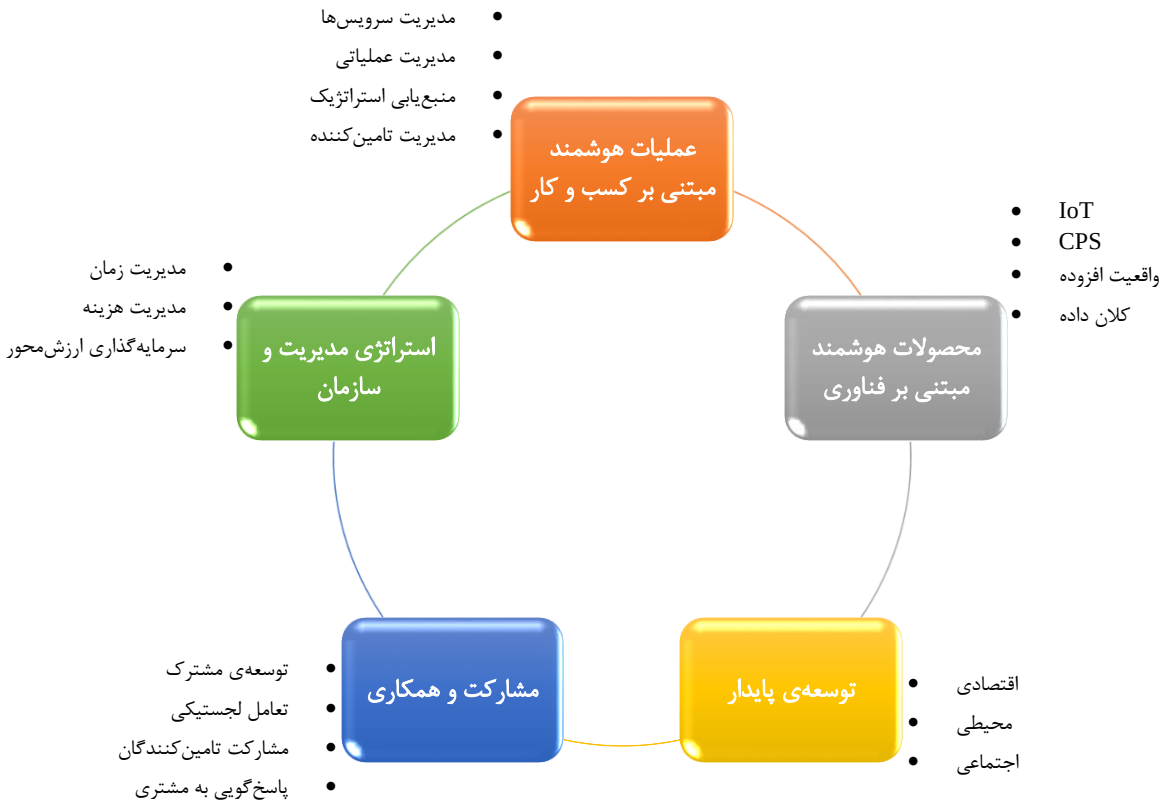
۱ـ۶ـ۲ پیشینه‌ی پژوهشی اینترنت اشیا در زنجیره تامین

یان و همکارانش، یک مفهوم جدید به نام ابر اشیا را به‌منظور تسهیل‌نمودن اشتراک‌گذاری منابع و هم‌کاری شرکا در کل چرخه‌ی عمر زنجیره‌ی تامین، توسعه‌دادند. درواقع در این تحقیق به‌جهت فراهم‌کردن روش‌های انعطاف‌پذیر و چابک برای تسهیم منابع، یک‌پارچه‌سازی هوشمند زنجیره‌ی تامین و مدیریت سیستم مبتنی بر ابر اشیا[1] صورت پذیرفت[۲۹].

مفهوم تولید پایدار در کنفرانس سازمان ملل متحد درباره‌ی محیط‌زیست و توسعه در سال۱۹۹۲ پدیدآمده و در ارتباط با مفهوم توسعه‌ی پایدار می‌باشد. در این کنفرانس دریافتند که علت اصلی نابودی محیط‌زیست جهانی، الگوی ناپایدار مصرف و تولید به‌خصوص در کشورهای صنعتی بوده است. از نظر برانتلند[2] تولید پایدرا عبارت است از برآورده کردن نیازهای نسل فعلی بدون آن‌که توانایی نسل‌های آینده در ارضای نیازشان به خطر افتد[۶۵]. تولید پایدار را می‌توان به‌عنوان تولیدی برای ایجاد کالاها و خدمات با استفاده از فرآیندها و سیستم‌های غیرآلوده، حفاظت از انرژی و منابع، انجام عملیات ماندگار اقتصادی و همچنین نگهداری محیط ایمن و سالم برای جامعه تعریف کرد. از این‌رو Manavalan و Jayakrishna [۳۰] به بررسی

1. Cloud of Things
2. Brundtland

جنبه‌های مختلف مدیریت زنجیره‌ی تامین، IoT و صنعت ۴/۰ و کشف فرصت‌های بالقوه‌ی موجود در زنجیره‌ی تامین پایدارِ مجهز به IoT برای تحول ناشی از انقلاب چهارم صنعتی پرداختند. در این بررسی، یک مطالعه‌ی جامع در مورد فاکتورهای مختلفی که بر روی زنجیره تامین پایدار تاثیر می‌گذارند، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و در نهایت به‌منظور ارزیابی آمادگی سازمان‌های یک زنجیره‌ی تامین از دیدگاه‌های مختلف، چارچوبی ارائه شده است تا نیازهای انقلاب چهارم صنعتی را برآورده سازد.



شکل(۱۱ـ۲) چارچوب ارزیابی زنجیره تامین هوشمند

شکل ۲.۱۱ چارچوب ارائه شده برای ارزیابی مدیریت زنجیره‌ی تامین هوشمند را نشان می‌دهد که از پنج بعد کسب‌وکار، فناوری، توسعه‌ی پایدار، هم‌کاری و استراتژی تشکیل شده است.

وردو و هم‌کارانش، استدلال می‌کنند که IoT ، مجازی‌سازی زنجیره‌های تامین را ممکن می‌سازد. کنترل مجازی زنجیره‌های تامین به خریدار اجازه می‌دهد تا کالاها را از طریق زنجیره‌ی تامین و همچنین اجرای کنترل کیفیت پیشرفته و برنامه‌ریزی، ردیابی نماید. سهم اصلی این مقاله در ادبیات موجود، این است که بررسی نموده که چگونه مجازی‌سازی اشیای فیزیکی می‌تواند بر مدیریت زنجیره‌ی تامین اثرگذار باشد. بدین‌منظور، چارچوب مفهومی را برای تحلیل زنجیره‌های تامین مجازی از منظر IoT ارائه کرده است[۳۱]. وردود و هم‌کاران در مقاله‌ای دیگر تحت عنوان مجازی‌سازی زنجیره‌ی تامین موارد غذایی با IoT، استدلال می‌کنند

که مجازی‌سازی می‌تواند نقش مهمی را برای حل چالش‌های خاص زنجیره‌های تامین مواد غذایی، از جمله فاسدشدن سریع، تغییرات غیرقابل‌پیش‌بینی عرضه و الزامات دقیق ایمنی و پایداری مواد، ایفا نماید. مفهوم زنجیره‌های تامین مواد غذایی مجازی از دیدگاه‌های اشیای مجازی تعریف شده است که در آن چهار بعد پیچیدگی مجازی‌سازی زنجیره‌ی تامین شامل شبکه، شی، فرآیند و کنترل مورد توجه قرار می‌گیرند. مجازی‌سازی می‌تواند یک رویکرد قوی برای مدیریت این پیچیدگی باشد، زیرا اینترنت مبتنی بر اشیای مجازی، تصمیم‌گیرندگان را در سراسر زنجیره‌ی تامین مواد غذایی قادر می‌سازد تا نظارت، کنترل، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی فرآیندهای تجاری را از راه دور و در زمان واقعی اعمال نمایند[۳۲]. آکورسی و هم‌کارانش [۳۳]، اهداف و استراتژی‌هایی را برای طراحی و ساخت معماری IoT که به برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل عملیات زنجیره تامین مواد غذایی[1] کمک می‌کند، مورد بحث قرار می‌دهند. در واقع آن‌ها معماری جامعی از موجودیت‌ها، اشیای فیزیکی، جریان‌های اطلاعاتی و فیزیکی، مراحل و فرآیندهای شناخته‌شده، ردیابی‌شده، کنترل‌شده و متصل به یک‌دیگر را به‌جهت نشان‌دادن وابستگی‌های متقابل در بین زنجیره‌ی تامین، ارائه می‌کنند. یک اکوسیستم شبیه‌سازی‌شده از زنجیره‌ی تامین مواد غذایی که در آن از IoT استفاده می‌گردد، در این پژوهش نشان داده شده است. تینگ و هم‌کاران [۳۴] نشان می‌دهند که مهم‌ترین مشکل در زنجیره‌ی تامین دارو، عدم‌شفافیت اطلاعات در حرکت محصول از تولیدکنندگان به سوی کاربران نهایی است؛ جایی که برای ارتقای عملکرد عملیات شرکت ضروری می‌باشد. این عدم شفافیت موجب پیدایش معضل جعل‌کردن، خواهد شد. برای جلوگیری از این مسئله، آن‌ها کاربرد اینترنت اشیا در انتقال اطلاعات زنجیره‌ی تامین را پیشنهاد می‌کنند. یو و هم‌کارانش، تاثیر IoT را بر انتخاب تامین‌کننده را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها توصیه می‌کنند که به‌کارگیری فناوری‌های IoT انعطاف‌پذیری بیشتری را ارائه می‌دهد. این مطالعه که بر روی ۱۴۸ خرده‌فروش الکترونیکی فروشگاه آنلاین تائوبائو (Taobao) در کشور چین انجام شد بر این این هدف تمرکز داشت که خرده‌فروشان الکترونیکی که در عصر IoT با محصولات نوآورانه سر و کار دارند، ارائه‌دهندگان سرویس‌های تحویل کالا را چگونه انتخاب نمایند تا از تحویل به‌موقع و کارآمد به مشتریان اطمینان پیدا کنند[۳۵]. کیو و هم‌کاران بحث کردند که چگونه IoT می‌تواند به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات کمک کند تا هماهنگ‌سازی بین تولید و حمل‌ونقل را ممکن سازد. این مقاله ایجاد یک هابِ[2] عرضه‌ی مجهز به IoT را در پارک صنعتی پیشنهاد می‌کند تا کارآیی و اثربخشی به‌اشتراک‌گذاری دارایی‌های فیزیکی و خدمات افزایش یابد[۳۶].

1. Food Supply Chain
2. Hub

ژانگ و هم‌کاران[۳] در پژوهش خود چارچوبی برای سیستم‌های لجستیک تولید هوشمند[1] براساس سیستم‌های سایبر ـ فیزیکال و IIoT ارائه کردند که دربردارنده‌ی مکانیزم و روش پیکربندی خودسازمان‌دهنده برای لجستیکِ تولید مبتنی بر هم‌کاری می‌باشد. در SPLS پیشنهاد شده، منابع تولیدی در همه‌ی سطوح قادر به پاسخ‌گویی فعالانه به اختلالات و ایجاد هماهنگی به‌صورت هوشمندانه هستند. تعامل دو جانبه‌ی لجستیک ـ تولید و روابط مبتنی بر هم‌کاری بین ماشین‌آلات، مواد و انسان بر اساس مکانیزم پیکربندی خودسازمانی پیشنهاد شده، به‌دست آمده است. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که سیستم‌های لجستیک تولید را می‌توان هنگامی که استسنائاتی در خط تولید یا لجسیک کارخانه رخ می‌دهد، به‌طور انطباقی و به‌شکل مشارکتی و مبتنی‌بر هم‌کاری بهینه نمود. این مطالعه نشان می‌دهد که SPLS می‌تواند به شرکت‌های تولیدی کمک کند تا در زمان تولید و مصرف انرژی صرفه جویی نمایند.

در پژوهشی که توسط لوترا و مانگالا[۳۷] به‌جهت ارزیابی چالش‌های صنعت ۴/۰ برای پایداری زنجیره‌ی تامین در بین صنایع مختلف کشور هند از جمله خودروسازی، فلزات و ماشین‌آلات ، تجهیزات الکتریکی و لوازم خانگی، مواد غذایی و نوشیدنی و نساجی انجام شد، چهار دسته از چالش‌ها شامل چالش‌های سازمانی، چالش‌های تکنولوژیکی، چالش‌های استراتژیک و چالش‌های حقوقی و اخلاقی بررسی شدند. نتایج این پژوهش با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی AHP مورد تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهند که چالش‌های سازمانی دارای بالاترین درجه‌ی اهمیت بوده و به دنبال آن چالش‌های تکنولوژیکی، چالش‌های استراتژیک و مسائل حقوقی و اخلاقی قرار دارند. عبدالباسط و هم‌کاران[۳۸] برای برقراری یک زیرساختِ هوشمندِ بزرگ ـ مقیاس جهت ادغام داده‌ها، اطلاعات، محصولات، اشیای فیزیکی و تمام فرآیندهای زنجیره‌ی تامین، IoT را در مدیریت زنجیره‌ی تامین از طریق ایجاد یک سیستم هوشمند و ایمنِ مدیریت زنجیره تامین به‌کار گرفتند. آن‌ها یک وب‌سایت برای تامین‌کنندگان و مدیران ایجاد نمودند و جریان محصولات را در هر مرحله از زنجیره‌ی تامین از طریق فناوری RFID ردیابی می‌کردند. در این فرآیند هر محصول به برچسب RFID الصاق شده و از طریق یک RFID خوان در هر مرحله از مدیریت زنجیره‌ی تامین ردیابی می‌شود. پس از اسکن‌کردن تگ، شناسه‌ی تگ[2] در پایگاه داده‌ها ذخیره می‌گردد. تمامی اطلاعات مربوط به محصولات توسط تامین‌کنندگان وارد پایگاه شده و سپس برای مدیران بارگذاری می‌شود. در این سیستم، تامین‌کننده و مدیر، اطلاعات کاملی را از کل چرخه‌ی حیات کالا به‌دست می‌آورند و این امر سبب دست‌یافتن به شفافیتی بالا در مدیریت زنجیره‌ی تامین خواهد شد. به‌منظور ارزیابی

1. Smart Production-Logistics Systems
2. Tag ID

معیار ایمنی سیستم پیشنهاد شده برای مدیریت زنجیره‌ی تامین، از تکنیک N-DEMATEL جهت یافتن روابط میان معیارها و از تکنیک AHP برای به‌دست آوردن وزن و اهمیت معیارها استفاده شد. قلندری در پژوهشی به ارزیابی تاثیر به‌کارگیری IoT بر بهبود مدیریت موجودی در فروشگاه‌های زنجیره‌ای مازندران پرداخته است. در این پژوهش موارد سطح موجودی، هزینه‌ی موجودی، امنیت موجودی و مدیریت زمان به عنوان شاخص‌های تحقیق در نظر گرفته شدند و فرضیات پژوهش بر پایه‌ی این شاخص‌های مطرح گشت که نتایج حاکی از وجود تاثیر مثبت اینترنت اشیا بر شاخص‌های مذکور و در نتیجه تاثیر مثبت فرضیه‌ی اصلی یعنی بهبود مدیریت موجودی داشته است. چرا که از طریق ایجاد یک پایگاه داده‌ای یکپارچه، دقیق، قابل‌اطمینان و به‌روز تاخیرات زمانی و هزینه‌ها به شدت کاهش می‌یابد، مباحث امنیتی به شکل جامع پوشش داده‌می‌شود و در مدیریت موجودی خودکارسازی و هوشمندسازی صورت می‌گیرد[۶۶].

۲ـ۶ـ۲ زنجیره‌ی تامین هوشمند

معنای «هوشمندی» توانایی یک شی در تشخیص، درک، انجام کار و پاسخ‌دهی انعطاف‌پذیر به هرگونه تغییرپذیری می‌باشد. برای هوشمند بودن زنجیره تامین تولید، بایستی فناوری اطلاعات، ارتباطات و تولید با زنجیره‌ی تامین ادغام و هم‌گرا شوند. اهداف زنجیره تامین هوشمند برابر با اهداف زنجیره‌های تامین متعارف هستند؛ یعنی حفظ تعادل عرضه و تقاضا و به حداکثر رساندن رضایت مشتری با حداقل هزینه. با این حال، راه‌های دستیابی به این اهداف متفاوت است. تمام اجزای موجود در زنجیره تامین هوشمندِ صنعت تولید در یک شبکه‌ی ارتباطی، به هم متصل بوده و با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات در زمینه‌ی تولید محصول سفارشی و سرویس‌دهی‌ها هم‌کاری می‌کنند. همچنین، آن‌ها می‌توانند با استفاده از فناوری‌های تولید، کارکردهای چندگانه‌ای را ارائه نمایند. به این ترتیب، زنجیره تامین هوشمند صنعت تولید دارای سه صفت اساسی اتصال، هم‌کاری و سفارشی‌سازی و یک مشخصه‌ی بارز به نام انعطاف‌پذیری است[۱۹].

در پیاده‌سازی یک کارخانه‌ی هوشمند، IIoT به‌منظور یکپارچه نمودن تجهیزات زیربنایی به‌کار گرفته می‌شود. بر این اساس، سیستم تولیدی قابلیت‌های درک، اتصال و ادغام‌سازی داده‌ها را دارا می‌باشد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و تصمیمات علمی به‌جهت تحقق زمان‌بندی تولید، سرویس‌دهی تجهیزات و کنترل کیفیت محصولات در کارخانه‌ی هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرد. کارخانه‌ی هوشمند یک سیستم تولیدی هوشمند است که از یک‌پارچه‌سازی تولید و سرویس‌دهی‌ها بهره می‌برد. این سیستم، فرآیند ارتباطات، فرآیند محاسبات و فرآیند کنترل

را برای برآورده ساختن نیازهای صنعتی، یک‌پارچه می‌سازد. علاوه بر این، اینترنتِ سرویس‌دهی، به‌منظور مجازی‌سازی منابع تولیدی از یک پایگاه داده‌ای محلی برای یک سرور ابری ارائه شده است. کارخانه‌ی هوشمند باید منبع داده‌ها (به عنوان مثال، زنجیره‌های تامین، داده‌های تولید و داده‌های لجستیکی) را با پلت‌فرم‌های سرویس‌دهی (مثل پلت‌فرم تولید ابری)، که سرویس‌های تولیدی مانند پیش‌بینی فروش و تجزیه‌وتحلیل کیفیت را ارئه می‌کنند، ادغام نماید[۳۹].

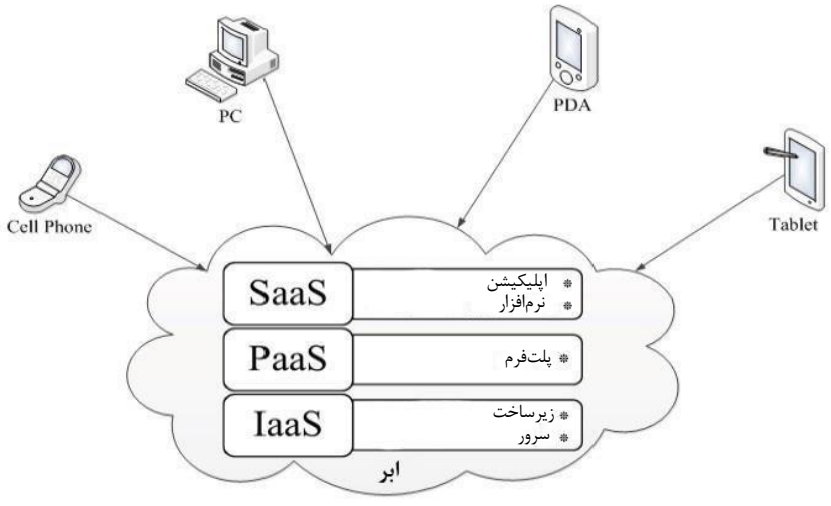
۲ـ۷ رایانش ابری

مطابق تعریف موسسه‌ی ملّی استاندارد و فناوری ایالات متحده‌ی آمریکا رایانش ابری مدلی است که امکان دسترسی شبکه‌ایِ فراگیر، راحت و مبتنی بر تقاضا به مجموعه‌های به اشتراک گذاشته از منابع محاسباتی قابلِ پیکربندی مجدد (مانند شبکه‌ها، سرورها، تجهیزات انبارش داده، نرم‌افزارهای کاربردی و سرویس‌ها) را با کم‌ترین تلاش مدیریتی و تعامل با ارائه‌دهندگان منابع فراهم می‌آورد[۷۲]. طبق تعریف فوق، مدل رایانش ابری یک مدل سرویس‌گرا می‌باشد که سرویس‌های درخواستی از سوی درخواست‌کنندگان ارائه می‌دهد. رایانش ابری این قابلیت را دارا می‌باشد که سرویس‌های مورد نیاز کاربران و مشتریان را با بیشترین قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی و همچنین با بالاترین عملکرد ارائه نماید. در رایانش ابری بهره‌مندی از سرویس‌ها با استفاده از کامپیوترها یا دستگاه‌های هوشمند متصل به اینترنت صورت خواهد گرفت.

رایانش ابری یکی از فناوری‌های هوشمندی است که سرویس‌ها را با قابلیت اطمینان بالا در یک محیط توزیع شده، ارائه می‌کند. این فناوری روش کسب‌وکار سازمان‌ها و صنایع را تغییر داده‌است به‌گونه‌ای که منابع از طریق اینترنت و به‌صورت مجازی ارائه‌خواهد شد[۱۰]. در رایانش ابری اشخاص یا سازمان‌ها می‌توانند با داشتن حق اشتراک از سازمان‌های ارائه‌دهنده‌ی خدمات مثل استفاده از برنامه‌های کاربردی، نرم‌افزارها و ... یک سری سرویس‌ها را از طریق پلت‌فرم‌های اینترنتی دریافت نمایند یا چند سازمان منابع رایانشی خود روی پلتفرم ابری در اینترنت به‌اشتراک‌گذاشته و به‌صورت هم‌افزا از آن بهره‌ببرند[۶۱]. شرکت Salesforce یک شرکت آمریکایی در زمینه‌ی رایانش ابری است که نمونه‌ای از شرکت‌های ارائه‌کننده‌ی سرویس‌های رایانش ابری می‌باشد.

۱ـ۷ـ۲ انواع سرویس‌دهی‌ها در رایانش ابری

- نرم‌افزار به عنوان سرویس[1] : در این نوع از سرویس‌دهی‌ها، نرم‌افزار را به‌صورت سرویس بر روی اینترنت تحویل می‌دهند که در نتیجه نیاز به نصب نرم‌افزار بر روی رایانه‌های شخصی یا سازمانی از میان می‌رود، نگهداری و پشتیبانی از آن ساده‌تر خواهد شد، به‌روزرسانی و ارتقای نرم‌افزار به صورت مرکزی اداره می‌شود[۶۷]. می‌توان به Google Mail و Google Docs اشاره نمود که مثال‌هایی از ارائه‌ی سرویس‌ها به‌صورت نرم‌افزار است.
- بستر به عنوان سرویس[2] : PaaS یک بستر توسعه برای پشتیبانی از کل چرخه‌ی عمر نرم‌افزار است که به مصرف‌کنندگان ابری اجازه می‌دهد تا سرویس‌ها و برنامه‌های ابری (به عنوان مثال SaaS) را مستقیما بر روی ابر PaaS توسعه دهند. ازاین‌رو تفاوت بین SaaS و PaaS در این است که SaaS فقط برنامه‌ها و اپلیکیشن‌های ابری را میزبانی می‌کند در حالی که PaaS یک پلت‌فرم توسعه را ارائه می‌دهد که هم میزبان برنامه‌های ابری کامل‌شده است و هم برنامه‌های ابری در حال پیشرفت. این امر مستلزم آن است که PaaS علاوه بر پشتیبانی از محیط میزبان نرم‌افزار، دارای زیرساخت‌های توسعه شامل محیط برنامه نویسی، ابزارها، مدیریت پیکربندی و موارد دیگر باشد[۴۰].
- زیرساخت به عنوان سرویس[3]: امکاناتی شامل توان پردازشی، فضای ذخیره‌سازی، شبکه‌ها و دیگر منابع پایه‌ای رایانشی که برای مشتری فراهم می‌گردد، به گونه‌ای که مشتری قادر باشد نرم‌افزار دلخواه خود را بر روی آن قرار داده و اجرا نماید[۶۸]. Amazon's EC2 یا همان ابر محاسباتی الاستیک شرکت آمازون نمونه‌ای از IaaS می باشد.



شکل(۱۲ـ۲) سرویس‌های رایانش ابری

1. Software as a Service
2. Platform as a Service
3. Infrastructure as a service

۲ـ۷ـ۲ مدل‌های رایانش ابری

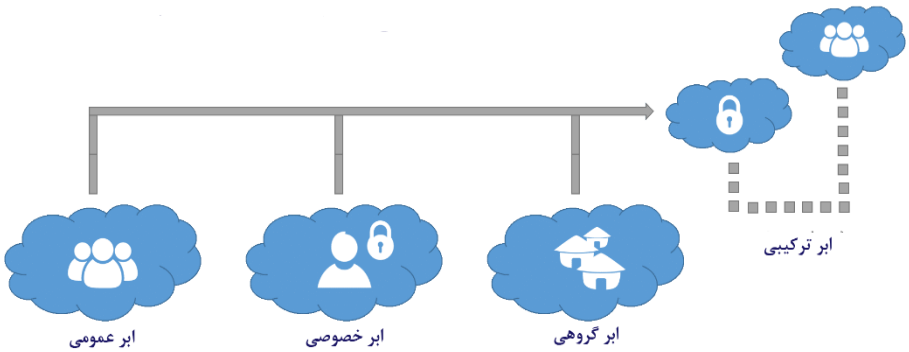
مدل‌های پیاده‌سازی رایانش ابری را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد[۶۷] که این چهار دسته عبارتند از :

- ابرهای خصوصی[1] : یکی از زیرساخت‌های رایانش ابری می‌باشد که تنها برای یک سازمان کارایی دارد و همان‌طور که از نامش پیداست، بخشی از مرکز داده‌ای تنها برای یک سازمان به شمار می‌رود. این زیرساخت ممکن است توسط خود سازمان یا شرکت دیگری ایجاد شود. ابر خصوصی ممکن است به‌صورت درون‌ملکی باشد؛ نرم‌افزار درون‌ملکی، نرم‌افزاری است که روی رایانه‌ی شخصی یا سازمان نصب و استفاده می‌گردد. اما نرم‌افزار برون‌ملکی، نرم‌افزاری است که روی سخت‌افزارهایی نصب می‌شود که در اینترنت و ابر بوده و این ابر در خارج از شرکت قرار دارد. از مهم‌ترین مزایای ابرهای خصوصی این است که امکان کنترل بیشتری بر تمامی سطوح پیاده‌سازی ابر (شامل شبکه، سیستم عامل، نرم‌افزار و سخت‌افزار) را فراهم می‌آورد. دیگر مزیت مهم ابرهای خصوصی، امنیت بیشتر می‌باشد که علت آن قرارگیری تجهیزات در درون مرزهای سازمان و عدم‌ارتباط با دنیای خارج است. اما مشکلاتی چون نگهداری تجهیزات، هزینه، استخدام نیروهای متخصص هم در استفاده از ابرهای خصوصی مطرح است.
- ابرهای عمومی[2] : این ابر نشان‌گر ساختار اصلی و استاندارد اولیه‌یِ رایانش ابری می‌باشد. در این ابر سرویس‌دهی‌ها به‌صورت پویا و از طریق اینترنت از یک عرضه‌کننده‌ی سوم و به صورت واحدهای کوچک تدارک داده می‌شوند و عرضه‌کننده، منابع را به‌صورت اشتراکی و اصطلاحا چندمستاجره‌ای اجاره می‌دهد. ارائه‌دهندگان ابرهای عمومی براساس مدل رایانش همگانی و مشابه صنایع برق، تلفن و آب برای کاربرانشان، صورت‌حساب صادرکرده و می‌فرستند. در ابر عمومی عرضه‌کننده منابع و سرویس‌های گوناگون را برای عموم کاربران تدارک می‌بینند و به میزان عرضه و تقاضا، هزینه را از مشتریان دریافت می‌کنند. واضح است که تامین امنیت و مدیریت ابر عمومی بر عهده‌ی میزبان است.
- ابرهای گروهی[3] : اگر چند سازمان دارای اهداف و سیاست‌های مشترکی باشند و بخواهند از طریق به‌اشتراک‌گذاری زیرساخت‌ها از مزایای رایانش ابری بهره ببرند می‌توانند از

1 . Private cloud
2 . Public cloud
3 . Community cloud

ساختار ابری گروهی (انجمنی) استفاده کنند. این ابر از لحاظ امنیت و از لحاظ هزینه مابین ابرهای خصوصی و عمومی جای می‌گیرد.

- ابرهای ترکیبی[1] : این نوع از ابر، ترکیبی از انواع ابرهای مذکور می‌باشند. ابری ترکیبی (آمیخته یا پیوندی) ساختاری است که به سازمان این امکان را می‌دهد تا از بعضی خدمات ابر عمومی در کنار مدیریت خدمات ابر خصوصی خودش استفاده نماید. در این ساختار داده‌های غیربحرانی در ابر عمومی قرار می‌گیرند و داده‌های بحرانی و مهم در ابر خصوصی قرار داده می‌شوند تا همواره در کنترل سازمان باشند و افراد غیرمجاز به آن دسترسی نداشته باشند. مزیت اصلی ابرهای ترکیبی انعطاف‌پذیری بالای آن‌ها می‌باشد.



شکل(۱۳ـ۲) مدل‌های پیاده‌سازی رایانش ابری

۲ـ۸ مروری بر سیر تحول سیستم‌های تولیدی

مفاهیم و پارادایم‌های تولیدی در طول تاریخ صنعت تولید همیشه در حال دگرگونی و ارتقا بوده است، به شکلی که سعی شده به سوی استفاده‌ی بیشتر از فناوری‌ها پیش رانده شود. با بررسی روند این تغییرات و چرایی و چگونگی پیدایش مفاهیم نوین در صنعت ساخت و تولید نکته‌ای که بسیار ملموس می‌باشد این است که به طور کلی بنگاه‌ها و سازمان‌ها یک تغییر جهت استراتژیک از منفعت‌جویی صرف و بالا نگه‌داشتن کارایی به سوی رفاه کارکان، افزایش خلاقیت، توجه به محیط زیست، مشتری‌گرایی، مشارکت در خلق ارزش و همچنین پاسخ‌گویی بیشتر تغییر مسیر داده‌اند.

در سیستم تولید دستی[1] از کارگران کم و ماهر استفاده می‌شود و ابزار و وسایل تولید به‌طور نسبی ساده است. به همین دلیل آن‌چه که تولید می‌شود درحجم بسیار پایین بوده و به‌شکل

1. Hybrid cloud
1. Handy production

دقیق مطابق با خواست مشتری و براساس نیاز او می‌باشد. هزینه‌های بالای تولید از مهم‌ترین معایب این سیستم تولیدی است[۴۱]. هنری فورد در اوایل قرن بیستم سیستم تولید انبوه[۲] را برای شرکت خودورسازی فورد به‌کار گرفت. در این سیستم تولیدی از خطوط مونتاژ و ماشین‌آلات گران‌قیمت و تخصصی استفاده می‌شود. با عمل تقسیم‌کار، کارگران ساده به انجام کارهای تکراری روزانه مشغول هستند و کارها به وظایف تولیدی ساده تجزیه می‌شوند، بالاترین کارایی مدنظر بوده و تمرکز اصلی بخش‌های تولیدی، بر روی کاهش هزینه‌ها معطوف گردیده بود[۴۱]و[۶۹]. در سال ۱۹۶۰ ، تولید ناب[۳] در ژاپن متولد شد. تاییچی اوهنو و ای جی تویودا در شرکت خودروسازی تویوتا از پیش‌گامان این ایده بودند. شناسایی عیوب محصولات در مدت‌زمان بسیار کم، اصلاح مداوم سیستم، بهبود مستمر و فرهنگ خلاقیت در کار، جلوگیری از اتلافات زمان و هزینه از ویژگی‌های این سیستم بوده و کاهش بهای تمام شده‌ی محصول برای مشتری، افزایش کیفیت و تحویل به‌موقع نیز اهداف سسیستم تولید ناب هستند[۴۱]. تولید انعطاف‌پذیر[۴] برای اولین بار در دهه‌ی هشتاد میلادی در پاسخ به نیاز سیستم‌های تولید انبوه جهت پاسخ‌گویی به تغییرات در محصولات، فناوری‌های تولید و بازارها ارائه شده است. هدف اصلی در این سیستم، افزایش تنوع و حجم ترکیبی قطعات یا محصولات منطبق با نیازمندی‌های تولید به‌منظور جذب و خنثی‌سازی اثرات مخرب تغییرات بزرگ در سیستم است. تولید منعطف در سازمان‌های با حجم تولید و تنوع محصولات متوسط کاربرد دارد[۷۰]. تولید یکپارچه‌ی مبتنی بر کامپیوتر[۵]، روش تولیدی دیگری است که فرآیندهای تولیدی به وسیله‌ی کامپیوترها انجام و کنترل می‌شوند. مزیت اصلی استفاده از کامپیوتر، تبدیل فرآیندهای تولید به فرآیندهای اتوماسیونی و یکپارچه‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی، منابع و فرآیندهای تولید در سازمان است. با استفاده از این سیستم، سازمان‌های تولیدی سریع‌تر،کاراتر و کم‌خطاتر خواهند شد. به‌منظور دستیابی به چنین اهدافی، از زیرسیستم‌هایی نظیر طراحی به کمک کامپیوتر، مهندسی به کمک کامپیوتر، تولید به کمک کامپیوتر و ... استفاده می‌شود[۷۱]و[۷۰].

2. Mass production
3. Lean Production
4. Flexible Manufacturing
5. Computer Integrated Manufacturing

مفهوم تولید چابک[1] در سال ۱۹۹۱ در آمریکا مطرح شد. طبق گفته‌ی پیتر دراکر یک ناو بزرگ می‌تواند توسط چند ناو کوچک جایگزین شود، در نتیجه سازمان‌های مدولار و چندبخشی به انعطاف‌پذیری و پاسخ‌گویی بیشتری مجهز هستند. تولید چابک به‌منظور به‌کارگیری فرآیندها، ابزارها و آموزش‌ها برای پاسخ سریع به نیازهای مشتریان، تغییرات پیوسته در تقاضا و کنترل کیفیت و هزینه استفاده می‌گردد. یکی از اهداف تولید چابک توسعه‌ی فناوری‌های لازم به‌منظور پشتیبانی فرآیندهای تولیدی می‌باشد. در تولید چابک پاسخ‌گویی سریع به نیاز مشتریان مورد توجه بخش‌های تولیدی می‌باشد[۴۱]و[۷۱]و[۶۹]. تولید مجازی نیز نگرشی از فرآیندهای تولید واقعی را توسط کامپیوتر نشان داده و مدلی را برای شبیه‌سازی تولید فراهم می‌آورد[۷۱].

نخستین پروژه‌ی ساخت و تولید در بستر رایانش ابری در سال ۲۰۱۰ توسط مرکز تحقیقات ملی های‌تک چین اجرا شد. اجرای این پروژه سبب تسهیم و به‌اشتراک‌گذاری منابع تولیدی، کاهش زمان ورود کالا به بازار، بهبود کیفیت خدمات و همچنین کاهش هزینه‌های تولید شده است. تولید ابری به یک مدل شبکه‌ای اشاره دارد که پاسخ به تقاضاها به‌وسیله‌ی دسترسی به مجموعه‌ی مشترکی از منابع تولیدیِ توزیع‌شده و متنوع را با تشکیل خطوط تولیدی موقت ممکن خواهد ساخت[۶۸]و[۴۱].

در کنار این پیشرفت روزافزون برای سیستم‌های تولیدی در طول تاریخ، همواره مفاهیم جدید در کنار سیستم‌های تولیدی شکل می‌گرفتند که نشان از اهمیت نوع اثرگذاری صنعت و تولید بر روی زندگی بشر دارد. از جمله‌ی این مفاهیم که دغدغه‌ی متخصصان، صنعت‌گران، سازمان‌های عام‌المنفعه، دولت‌ها و مصرف‌کنندگان برای آینده است می‌توان به تولید پایدار و تولید سبز اشاره داشت. در تولید پایدار و به تبع آن زنجیره‌ی تامین پایدار همواره سعی بر آن است که جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی سه محوراصلی فعالیت باشند تا در توانایی آیندگان برای تولید و استفاده از منابع طبیعی خللی وارد نگردد. تولید سبز(زنجیره تامین سبز) تسهیل‌گر تحقق تولید پایدار(زنجیره تامین پایدار) است؛ چرا که یکپارچه‌کننده‌ی فعالیت‌های صنعتی با الزامات زیست‌محیطی است و این یکپارچگی از طراحی محصول آغاز شده و دیگر زمینه‌ها از جمله تامین مواد اولیه، ساخت و تولید، توزیع، تحویل و حتی پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد را شامل می‌شود تا میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع حداکثر گردد و در عملکرد کل زنجیره‌ی تامین بهبود حاصل شود.

در طول دو دهه‌ی گذشته، مدل‌ها و فناوری‌های پیشرفته‌ی تولیدی به منظور تحقق هدف TQCSEFK (یعنی سریع‌ترین زمان ارائه به بازار، بالاترین کیفیت، کم‌ترین هزینه، بهترین

1. Agile Manufacturing

سرویس‌دهی، تمیزترین محیط، بیشترین انعطاف‌پذیری و دانش بالا) برای موسسات تولیدی پیشنهاد شده است[۴۲]. پیشرفت فناوری‌های ارتباطی میان سازمان‌ها و واحدهای تولیدی و ظهور اینترنت و در نتیجه آن، پیدایش سرویس‌های تحت وب، باعث شده‌است تا سازمان‌ها به‌جهت دستیابی به منابع تولیدی مقرون‌به‌صرفه، پایدار و بهره‌ور و همچنین در راستای کاهش هزینه‌های غیرمستقیم تولید نظیر هزینه‌های سرمایه ثابت، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، ایمنی، انبارداری و ... به سمت سیستم‌های سرویس‌گرا حرکت نمایند[۶۹].

۹ـ۲ مفهوم تولید ابری

ساخت و تولید ابری یک مدل تولیدی محاسباتی و سرویس‌گرا است که از مدل‌های پیشرفته‌ی تولیدی و فناوری اطلاعات سازمانی، تحت پشتیبانی رایانش ابری، IoT، مجازی‌سازی و فناوری‌های سرویس‌گرا و فناوری‌های پیشرفته‌ی محاسباتی توسعه یافته است. هدف تولید ابری گردش و تسهیم کامل، بهره‌برداری بالا و استفاده بر اساس تقاضای منابع و قابلیت‌های تولید از طریق ارائه‌ی سرویس‌های تولیدی به‌صورت ایمن، قابل اعتماد، با کیفیت بالا، ارزان و مبتنی‌بر تقاضا برای کل چرخه‌ی عمر ساخت و تولید می‌باشد. مدل تولید ابری رونوشتی از فضای رایانش ابری بوده که به‌منظور اجابت نیاز مصرف‌کنندگان، از منابع فیزیکی تولید به‌جای منابع محاسباتی استفاده خواهد شد. در این سیستم منابع قادر خواهند بود که به‌صورت هوشمند به اینترنت متصل شده و به‌شکل اتوماتیک توسط IoT مدیریت و کنترل شوند[۴۲]. این منابع به‌صورت مجازی و سرویس‌های ابری ارائه و به‌صورت متمرکز مدیریت می‌شوند. سرویس‌ها براساس قوانین و الگوریتم‌های خاصی طبقه‌بندی‌شده و یا در کنار هم قرار می‌گیرند. مشتریان طبق نیازهایشان می‌توانند از سرویس‌های ابری در بخش‌های گوناگونی از جمله طراحی محصول، ساخت، آزمایش، مدیریت و دیگر مراحل چرخه‌ی عمر محصول استفاده نمایند[۱۰].

در سیستم تولید ابری، منابع و قابلیت‌های مختلف تولیدی می‌توانند هوشمندانه شناسایی و به اینترنت متصل شده و با استفاده از فناوری‌های IoT مانند RFID، شبکه‌های حس‌گر سیمی و بی‌سیم، به‌طور خودکار کنترل و مدیریت شوند. سپس منابع و قابلیت‌های تولیدی مجازی و به شکل سرویس‌های مختلف تولید ابری یا MCS[1] در می‌آیند که قادرند با استفاده از فناوری‌های مجازی‌سازی، فناوری‌های سرویس‌گرا و فناوری‌های رایانش ابری قابل دسترسی و قابل فراخوانی بوده و بر اساس تقاضا مورد استفاده قرار بگیرند. سرویس‌های تولید ابری طبق قوانین و الگوریتم‌های خاص طبقه‌بندی و تجمیع شده و انواع مختلفی از ابرهای تولیدی ایجاد می‌شوند. کاربران مختلف می‌توانند سرویس‌های واجد شرایط را از یک ابر تولیدی مرتبط با نیازهای خود جستجو و فراخوانی نمایند و آن‌ها را به جهت تکمیل یک وظیفه‌ی تولیدی ترکیب

1. Manufacturing Cloud Service

و مونتاژ کنند[۴۲]. پس از رسیدن یک سفارش تولید، وظیفه‌ی ساخت محصول به وظایف فرعی مشخصی تجزیه می‌شود که هر یک از این وظایف فرعی توسط مجوعه سرویس‌دهنده‌های مشخص قابل ارائه هستند.

در سیستم تولید ابری کاربران را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود[۷۱]و[۴۲]و[۶۹]:

- فراهم‌کنندگان : ارائه‌دهنده‌ی منابع و قابلیت‌های تولیدی موردنیاز در چرخه‌ی عمر فرآیند تولید یک محصول هستند که می‌توانند به شکل یک فرد، یک سازمان، یک شرکت یا یک شخص ثالث به‌کار گرفته‌شوند. آن‌ها دارای منابع تست و آزمایش، فناوری بسته‌بندی، بازرسی و ماشین‌کاری هستند. علاوه بر دارابودن منابع فیزیکی این کاربران دارای دانش و تجربه لازم برای استفاده از ماشین‌آلات به‌صورت موثر و کارآمد می‌باشند.
- عمل‌گر : عمل‌گرها یا همان اپراتورها، پلت‌فرم سیستم تولید ابری را برای ارائه‌ی سرویس‌ها و کارکردها به فراهم‌آورندگان، مصرف‌کنندگان و اشخاص ثالث، به‌کار می‌گیرند. آن‌ها با سازمان‌دهی، فروش، صدور مجوز و مشاوره درباره‌ی سرویس‌ها و ارائه، به‌روزرسانی و تعمیر و نگهداری فناوری‌های درگیر در عملیات مربوط به سرویس‌ها و پلت‌فرم سروکار دارند. درواقع این کاربران به‌عنوان واسطی بین مصرف‌کنندگان و فراهم‌کنندگان سرویس‌ها هستند و با پیشنهاد سرویس‌های مناسب به مشتریان بخشی از سود را به خود اختصاص می‌دهند. مسئولیت هماهنگی و مدیریت سیستم تولید ابری، تعیین، ترکیب، کنترل و ایجاد همکاری میان منابع به‌منظور پاسخ‌گویی به سرویس‌های مورد نیاز، بر عهده این بخش می‌باشد.
- مصرف‌کنندگان : مصرف‌کنندگان، مشترکان (دارای حق اشتراک) سرویس‌های تولید ابریِ موجود در پلت‌فرم سرویس‌دهی یک سیستم تولید ابری هستند. آن‌ها مطابق با نیازهایشان، حق استفاده‌ی سرویس ابری را از اپراتور، براساس هزینه‌های عملیاتی خریداری می‌نمایند. این کاربران به‌صورت فردی یا گروهی نیازمند ساخت محصول خاصی هستند، اما تمام امکانات لازم برای ساخت را نداشته و یا در صورت دارا بودن امکانات، خواستار به‌دست‌آوردن مزیت رقابتی به‌وسیله‌ی ساخت و تولید ابری هستند که در نتیجه سرویس‌های مطابق با نیاز هایشان را خریداری می‌کنند.

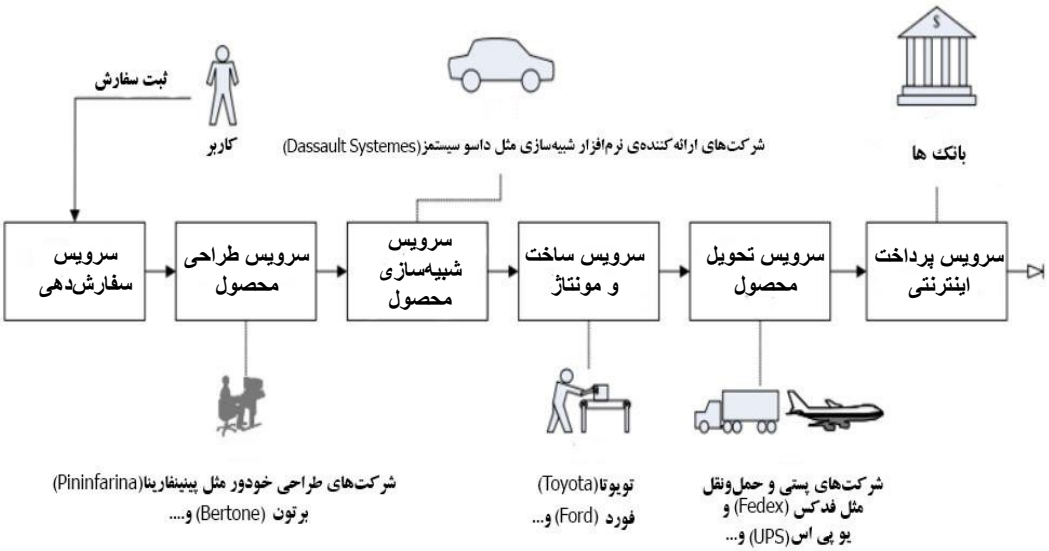
شکل(۱۴ـ۲) کاربران تولید ابری

در ساخت و تولید ابری کارخانه‌هایی که عضو ابر می‌شوند منابع خود را در اختیار پلت‌فرم ابری قرار داده و پلت‌فرم ابری این منابع را مجازی‌سازی کرده و برنامه‌ی آن‌ها را برای انجام سرویس‌های مختلف تنظیم می‌کند. از طرف دیگر، پلت فرم ابری فضایی را برای ارتباط با کاربر ایجاد می‌کند تا مشتریان به‌راحتی بتوانند ویژگی‌های مورد نیازشان را بیان و درخواست نمایند. مشتریان تقاضای خود را در ابر وارد کرده و اطلاعاتی از قبیل میزان قیمت مدنظر، طراحی کلی و دیگر مطلوبیات را به ابر ارائه می‌کنند و پلت‌فرم ابری، تقاضای دریافتی را به مجموعه‌ای از وظایف فرعی تجزیه خواهد نمود. پلت‌فرم ابری بایستی براساس هزینه، زمان و کیفیت درخواستی تصمیم بگیرد که هرکدام از وظایف ساخت و کارها توسط چه کسی و کدامین کارخانه انجام شود. در فضای ابری اینکه کدامین کار توسط چه کسی انجام گیرد را مسئله‌ی ترکیب سرویس‌ها می‌نامند[۷۱]. در تخصیص سرویس‌ها و در مواقعی که تقاضای مصرف‌کننده‌ها را نتوان با یک سرویس مشخص و مجزا پاسخ داد، بایستی ترکیبی از سرویس‌های ابری برای این منظور در نظر گرفت که باید از میان ارائه‌دهندگان بالقوه‌ی سرویس‌های ابری با عملکرد و مشخصات کیفیتی، زمانی، هزینه‌ای با قابلیت‌های اطمینان و دسترس‌پذیری مشخص را به‌منظور ارضای نیاز مصرف‌کنندگان برگزید. با کنار هم قرار گرفتن سرویس های ضروری تولید یک محصول در فضای ابری، زنجیره‌ی تامین مجازی به وجود

می‌آید که قابلیت انطباق‌پذیری فراوان با نیاز مشتری و سفارشی‌سازی بالایی را دارد. بهره‌مندی از فناوری‌های نوینی چون IoT در چنین زنجیره‌ای سبب پیدایش زنجیره‌ی تامین هوشمند خواهد شد.

۱ـ۹ـ۲ سرویس‌گرایی در تولید ابری

تولید ابری، مفهومی بر پایه‌ی شبکه است. این رویکرد با به‌کارگیری مفاهیم پردازش ابری، پردازش سرویس‌گرا و مفاهیم مربوط به شبکه، منابع و ظرفیت‌های تولیدی موجود در شبکه تولیدی را به‌صورت منابع مجازی(ارائه این منابع توسط سرویس‌دهندگان سرویس‌های تولیدی است) در نظر گرفته و با اعمال مدیریت هوشمند و یکپارچه، امکان اشتراک‌گذاری و ارتباط میان منابع تولیدی را مهیا می‌کند[۶۹]. پردازش سرویس گرا با در نظر گرفتن سرویس‌دهندگان ابری، بستر مناسبی جهت ایجاد هم‌کاری میان سازمان‌های تجاری مختلف با هدف کاهش هزینه‌ها و افزایش چابکی، ایجاد نموده‌اند[۴۱]. بر این اساس از ترکیب سرویس‌دهندگان مجزا با یک‌دیگر، زنجیره‌های تولید ابری ایجاد می‌گردد. نمونه ای از این زنجیره در خصوص ساخت خودرو در شکل زیر آورده شده است.[۶۹].



شکل(۱۵ـ۲) مفهوم سرویس ـ گرایی

بسیاری از مواقع ظرفیت‌های یک سازمان تولیدی در مختصات جغرافیایی گوناگونی قرار دارند، به‌عنوان مثال چند کارخانه در چند مکان مختلف در یک شهر یا در شهرهای گوناگون که هر کدام دارای قابلیت‌های خاص که قادر به انجام بخشی از فرآیند ساخت یک محصول باشند، وجود دارند. در چنین وضعیتی به یک پلت‌فرمی جامع نیاز هست تا وظایف سازمان‌دهی و

مدیریت سرویس‌ها و سرویس‌دهنده‌ها و تعیین بهترین ترکیب و زنجیره‌ی سرویس‌های تولیدی را به‌جهت تولید محصول با کاهش در هزینه‌ها، افزایش چابکی زنجیره و کاهش ریسک برعهده داشته باشد. پلت‌فرم تولید ابری ارائه‌کننده‌ی چنین مشخصاتی خواهد بود. بر خلاف رایانش ابری که در آن تمام سرویس‌ها بر روی نوعی از پلت‌فرم ابری ارائه می‌شود که بر بستر اینترنت قرار دارد و شبکه‌های اینترنتی، اساس و ضرورتی برای تسهیم منابع محاسباتی و انجام سرویس‌دهی‌ها می‌باشند، در تولید ابری در نظرگرفتن سرویس‌های لجستیکی و پیرو آن، حمل‌ونقل منابع فیزیکی هم، لازم به نظر می‌رسد.

۲ـ۹ـ۲ پیشینه‌ی پژوهشی تولید ابری

ساخت و تولید ابری با تشکیل خطوط تولید مجازی هزینه‌ی سرمایه‌گذاری‌های اولیه را کاهش و سرعت تولید را افزایش خواهد داد. عشقی و هم‌کاران در پژوهشی تحت عنوان ترکیب سرویس‌ها در ساخت و تولید ابری، به مدل‌سازی ریاضی برای ترکیب سرویس‌های ابری پرداخته و حمل‌ونقل بین منابع تولیدی پراکنده در سطح جغرافیایی در مدل ارائه شده لحاظ شده است[۷۲]. اکبری‌پور و هم‌کاران در [۴۳] یک مدل برنامه‌ریزی مختلط را به‌منظور بهینه‌سازی ترکیب سرویس‌ها و زمان‌بندی آن‌ها در فضای تولید ابری ارائه کردند و برخلاف بسیاری از تحقیقات پیشین عدم‌دسترس‌پذیری منابع تولیدی در طول زمان را نیز مدنظر قرار داده‌اند. عصاری[۷۱] در پژوهشی به برنامه‌ریزی برون‌سپاری عملیات ساخت و مسیریابی توامان در شبکه‌ی ساخت و تولید ابری پرداخت. در این پژوهش مسئله‌ی ترکیب سرویس‌های تولیدی و حمل‌ونقل در شبکه‌ی تامین ابری در نظر گرفته‌شده و یک مدل ریاضی عدد صحیح ترکیبی برای بهینه‌سازی مسئله‌ی ترکیب سرویس‌ها در فضای ابری ارائه شده است. هدف از مسئله‌ی ترکیب سرویس‌ها تخصیص بهینه‌ی فعالیت‌ها به کارخانه‌های تولیدی می‌باشد به‌طوری که اهدافی چون کمینه‌سازی زمان و هزینه‌های تولیدی و حمل‌ونقل لحاظ شود. فراهم‌کنندگان سرویس‌های تولیدی در این پژوهش کارخانه‌هایی با قابلیت‌های متنوع در زمینه‌ی تولید و فراهم‌کنندگان سرویس حمل‌ونقل شرکت‌های دارای ناوگان حمل‌ونقل هستند. جمشیدی[۶۹] در پژوهش خود، برای مسئله‌ی ترکیب سرویس‌ها و انتخاب مجموعه‌هایی از سرویس‌دهندگان، براساس جریان انجام کار محصول و باتوجه به سطح کیفیت ارائه‌ی سرویس از سوی سرویس‌دهندگان در فضای تولید ابری یک مدل ریاضی دو هدفه به‌منظور کمینه‌سازی زمان و هزینه‌های تولید و حمل‌ونقل محصول پیشنهاد کرد. در سیستم تولید ابری، اگرچه سرویس‌دهندگان (منابع) به صورت مجازی در فضای ابری در نظر گرفته می‌شوند، با این وجود

به‌منظور ساخت یک محصول لازم است تا اجزای تشکیل محصول، مطابق جریان انجام کار، میان سرویس‌دهندگان و در نهایت به سمت بازار نهایی مصرف‌کنندگان منتقل شوند. پراکندگی جغرافیایی میان سرویس‌دهندگان و بازار مصرف محصول، باعث شده است هزینه‌های مرتبط با لجستیک کالا به‌عنوان یک عامل تاثیرگذار در قیمت نهایی محصول درنظر گرفته‌شود. ازاین‌رو در این پژوهش حمل‌ونقل کالاها به‌صورت فیزیکی نیز به‌شکل سرویس در نظر گرفته می‌شود. آقامحمدزاده[۷۰] در پژوهشی تحت عنوان «بهینه‌سازی ترکیب سرویس‌های عملیات و حمل‌ونقل با ویژگی همگرایی در شبکه تامین ابری» با تمرکز بر بخش لجستیکی و عملیاتی سیستم ساخت وتولید ابری، مدل بهینه‌سازی ریاضی چندهدفه را جهت بهینه‌سازی و برون‌سپاری توامان خدمات عملیاتی و حمل‌ونقل با دررنظرگرفتن ویژگی هم‌گرایی در زمان مونتاژ زیربخش‌های محصول ارائه کرده است. این پژوهش به‌دنبال این مهم است که هنگام به‌کارگیری الگوریتم انتخاب تامین‌کننده جهت بهینه‌سازی ترکیب تامین‌کنندگان، ضمن ارضای نیاز مشتریان، تخصیص منابع به‌گونه‌ای صورت گیرد که هزینه‌های انتخاب تامین‌کنندگان کاهش یابد و باتوجه به استفاده از الگوریتم انتخاب مسیر بهینه و درنظرگرفتن هم‌گرایی جریان مواد به سمت محل مونتاژ نهایی، از هزینه‌های لجستیکی کاسته شود و در نهایت با استفاده از شبکه‌ی تامین مبتنی بر فضای ساخت و تولید ابری، سطح خدمت، سرعت پاسخ‌گویی و انعطاف‌پذیری سیستم افزایش داشته باشد. عباسی طلایی[۶۹] در پژوهش خود به ارزیابی تامین‌کنندگان تولید لوازم خانگی با سیستم ساخت و تولید ابری پرداخته است. وی به جهت طراحی و ارزیابی سیستم تولید ابری از تکنیک بدیهیات و رویکرد فازی تردیدی استفاده نمود. در این پژوهش چهار تامین‌کننده که انتخاب آن‌ها باتوجه به شاخص‌های مختلف برای مدیران شرکت مبهم بود، مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور ابتدا وزن و اهمیت ده شاخص موردنظر تولیدکننده با استفاده از تکنیک AHP فازی و نظر خبرگان مشخص شده و سپس تامین‌کنندگان با روش فازی تردیدی رتبه‌بندی شدند.

۳ـ۹ـ۲ سرویس‌های تولید ابری

Xu پس از مقایسه‌ی تولید ابری با رایانش ابری بیان می‌دارد که تولید ابری روشی چابک و انعطاف‌پذیر را اجرا می‌کند، که در آن منابع تولیدیِ توزیع شده درون سرویس‌های ابری محصور و کپسوله می‌شوند و مشتری‌ها مطابق با الزاماتشان از این سرویس‌ها استفاده می‌کنند[۱۰].

سرویس‌های ارائه شده در مدل ساخت و تولید ابری :

- زیرساخت به‌عنوان سرویس : مانند ایجاد سرورهایی با کارایی بالا و ایجاد فضایی برای پردازش و ذخیره‌سازی اطلاعات
- پلت‌فرم به‌عنوان سرویس : مانند پلت‌فرم‌های اجتماعی مجازی و موتورهای جستجو به‌منظور برقرارسازی ارتباطات، یا برای طراحی، شبیه‌سازی و تولید و ...
- سخت‌افزار به‌عنوان سرویس : مانند ماشین‌آلات و تجهیزات، دستگاه‌های CNC، برش، پرس، فیکس‌چرها و ....
- نرم‌افزار به عنوان سرویس : مانند برنامه‌های کاربردی نرم‌افزاری برای طراحی و تولید به کمک کامپیوتر (CAD/CAM)، ERP[1] ، نرم‌افزارهای Office، نرم‌افزارها امنیتی و ...
- برنامه به‌عنوان سرویس : مانند برنامه‌ی‌ریزی تولید، زمان‌بندی‌ها، پیش‌بینی‌های تقاضا و فروش، برنامه خرید
- حمل‌ونقل به‌عنوان سرویس : مانند سرویس‌هایی که شرکت‌های حمل‌ونقلی برای جابجاکردن کالاها ارائه می‌دهند.

در تولید ابری تمامی ملزومات تامین، ساخت و تولید، توزیع و تحویل از قطعات و مواد اولیه گرفته تا اطلاعات، از سخت‌افزار گرفته تا نرم‌افزارها، از تجهیزات گرفته زیرساخت‌ها و همه و همه در قالب سرویس‌ها اجاره داده می‌شوند یا به فروش می‌رسند که کاربران مختلف اعم از مصرف‌کننده‌های نهایی، سازمان‌ها، موسسات و کارخانه‌ها قادر به استفاده از سرویس‌های مختلف خواهند بود. سرویس‌ها لزوما کالای نهایی و خدمات پس از فروش آن‌ها نبوده و می‌تواند همه‌چیز را در بر بگیرد.

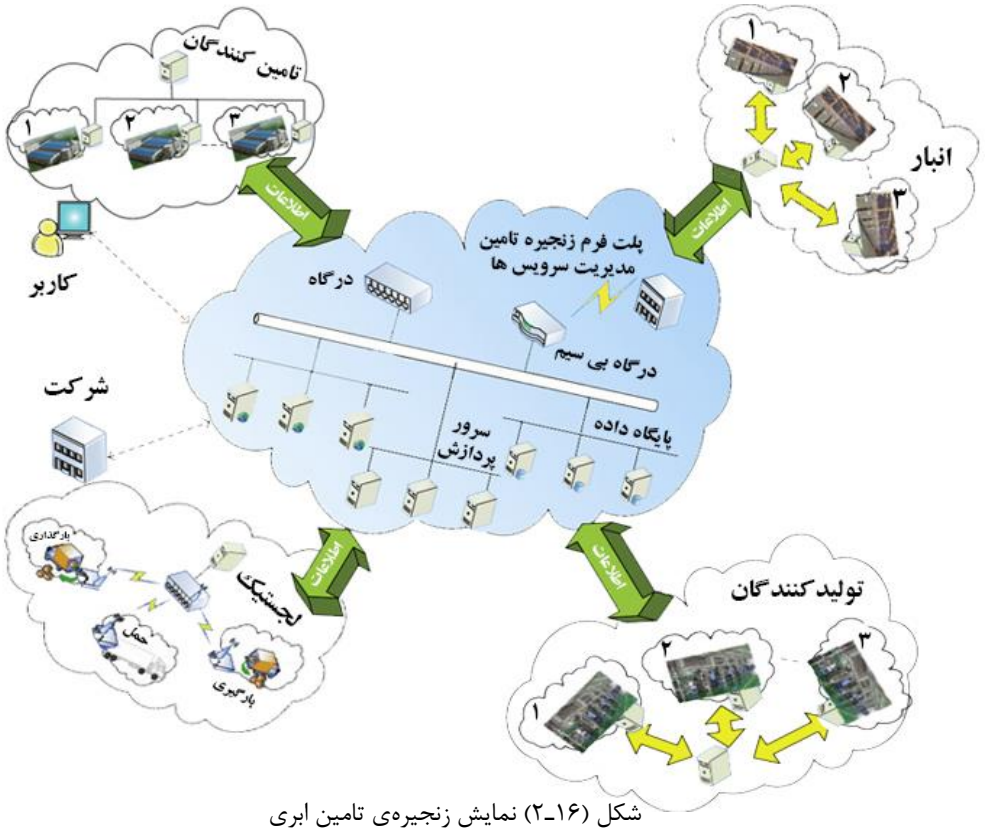
1. Enterprise Resource Planning

۲ـ۹ـ۴ مزایای تولید ابری

- افزایش انطباق‌پذیری و افزایش سرعت پاسخ‌گویی به تقاضای مشتری یکی از مزایای اصلی به‌کارگیری سیستم تولید ابری می‌باشد. این مزیت به‌دلیل امکان استفاده از منابع متنوع تولیدی برای سازمان‌ها ایجادشده است و چابکی سازمان را به‌دنبال خواهدداشت.
- حجم وسیعی از اطلاعات میان تولیدکنندگان در شکل و فرم گوناگون وجود دارد. تولید ابری امکان اشتراک‌گذاری و استفاده از اطلاعات مختلف مورد نیاز را برای سرویس‌دهندگان و مصرف‌کنندگان در پلت‌فرم ابری فراهم می‌نماید[۶۹].
- ساخت و تولید ابری به ارتقا بخش تخصصی در فرآیند تولید در شرکت‌ها کمک می‌کند؛ زیرا در چنین محیطی یک شرکت فقط فعالیت‌های اصلی کسب‌وکار خود را انجام می‌دهد، حتی اگر یک بخش بسیار کوچک باشد و نیازی به انجام تمام فعالیت‌های درگیر در چرخه عمر محصول به تنهایی نداشته‌باشد[۴۲].
- ظرفیت بی‌کار منابع کاهش پیدا می‌کند و بهره‌وری افزایش می‌یابد. در مدل‌های سنتی ساخت و تولید، بهره‌وری منابع ساخت و تولید پایین و حدودا ۶۵ تا ۲۲ درصد برای منابع IT تخمین زده شده است و در مقابل در ساخت و تولید ابری بهره‌وری منابع IT حداقل ۴۲ درصد می‌باشد[۴۴].
- سرمایه‌گذاری و هزینه‌های لازم برای سازمان‌های کوچک تولیدی کاهش پیدا می‌کند و این سازمان‌ها می‌توانند از منابع تولیدی با ارزش بالا مثل تجهیزات با ارزش، سیستم‌های کاربردی گران‌قیمت و قابلیت‌های تولیدی خاص که تنها در اختیار سازمان‌های بزرگ‌تر می‌باشد استفاده نمایند. محیط ابری دسترسی فوری به این منابع و بدون سرمایه‌گذاری‌های کلان را فراهم می‌آورد. برون‌سپاری برخی از سرویس‌ها باعث افزایش بهره‌وری استفاده از منابع و در نتیجه اقتصادی‌تر شدن تولید می‌گردد[۴۵] [۶۹].
- مدل ابری برای سازمان‌های کوچک و متوسط این امکان را به وجود می‌آورد که کسب‌وکار و تولید خود را در مقیاس بزرگتری و براساس تقاضای مشتریان توسعه دهند. این سازمان‌ها قادرند سرویس‌ها و منابع موردنیازشان را به‌راحتی به‌دست‌آورده و نیازهای جدیدشان را با استفاده از این سرویس‌ها سریعا برآورده نمایند[۴۱].

۲ـ۱۰ مفهوم زنجیره‌ی تامین ابری

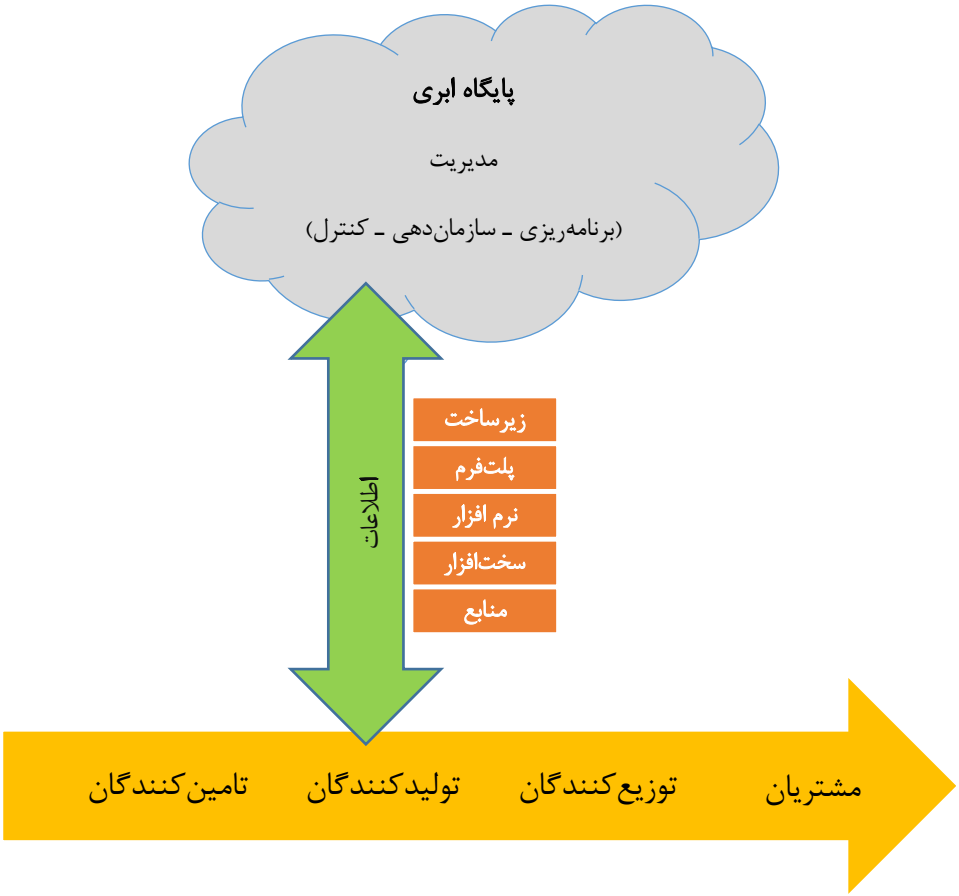
در زنجیره‌ی تامین ابری از مفاهیم نوینی چون اینترنت اشیا و رایانش ابری استفاده می‌شود. در واقع هدف آن است که زنجیره‌ی تامین را به فضای Cloud وارد کرده و با مشارکت مجموعه‌ای از تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان قادر باشیم تا یک محصول سفارشی‌سازی شده را با پایین‌ترین هزینه‌ی سرمایه‌گذاری و عملیاتی، کم‌ترین زمان تولید، بالاترین کیفیت و رضایت در اختیار مصرف‌کننده‌ی نهایی قرار دهیم. در زنجیره‌ی تامین ابری، مشتری (شرکت، سازمان، موسسه، کارخانه، مصرف‌کننده‌ی نهایی و یا هر شخص یا نهادی) وارد پلت‌فرم ابری شده و سفارش محصول مورد نظر خود را ثبت می‌کند. پلت‌فرم ابری وظیفه‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی ساخت محصول را در اختیار داشته و پس از مشخص‌نمودن مجموعه‌ی از سرویس‌های موردنیاز برای تکمیل و تحویل محصول، از میان سرویس‌دهندگان بالقوه به انتخاب سرویس‌دهندگان مطلوب و ترکیب بهینه‌ی سرویس‌ها مبادرت می‌ورزد.



شکل (۲ـ۱۶) نمایش زنجیره‌ی تامین ابری

در زنجیره‌ی تامین ابری، کل فرآیند ساخت و تحویل محصول توسط فناوری اینترنت اشیا و بر روی پلت‌فرم ابری قابل رویت و ردیابی بوده و اطلاعات لازم از فرآیند، در اختیار شرکای زنجیره‌ی تامین قرار خواهد گرفت. استفاده از تجهیزات هوشمند و خودکار قابل‌کنترل و

قابل‌برنامه‌ریزی از طریق اینترنت، به تحقق یک زنجیره‌ی تامین هوشمند به نام زنجیره‌ی تامین ابری شتاب خواهد داد. زنجیره‌ی تامین ابری یک زنجیره‌ی مشارکتی بوده که وجود اطلاعات بلادرنگ و در زمان واقعی مبنای تحقق آن است؛ چرا که شرکا و بازیگران زنجیره با تکیه بر همین اطلاعات، به تصمیم‌گیری و ارائه و دریافت سرویس‌های ابری مبادرت می‌ورزند. در نتیجه استفاده از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی نوین مثل IoT سبب ایجاد حداکثر شفافیت اطلاعاتی در طول یک زنجیره‌ی ابری خواهد شد؛ شفافیت اطلاعاتی، بهبود در فرآیندها و عناصر یک زنجیره‌ی تامین را موجب می‌گردد. در زنجیره تامین ابری یک ابر اطلاعاتی در پلت‌فرم ابری مستقر بوده که به نیازهای اطلاعاتیِ مشارکت‌کنندگان در طول زنجیره، مانند اطلاعات تقاضای محصول، نوع بازار، موجودی‌ها، زمان‌بندی‌های تولید و ارائه‌ی محصول، اطلاعات کیفتی، قیمتی و ... پاسخ خواهد داد.



شکل (۱۷ـ۲) تسهیم اطلاعات در زنجیره‌ی تامین ابری

در زنجیره تامین ابری منابع ساخت و تولید به شکل مجازی درآمده و وارد فضای ابری می‌شود تا قابل‌برنامه‌ریزی و تخصیص باشند. این منابع مجازی‌شده در قالب سرویس‌های ابری از سوی تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان قابل ارائه خواهند بود. در یک زنجیره‌ی ابری، سرویس‌ها در طول زنجیره توسط سرویس‌دهندگان و براساس تقاضا یعنی تحت یک سیستم کششی به فروش می‌رسند. شروع زنجیره با تقاضای محصول(ثبت سفارش) مصادف می‌شود که این امر برخلاف سیستم‌های فشاری تولید محصولات عمل خواهد کرد. در زنجیره‌ی ابری مشتریان سرویس‌ها همیشه مصرف‌کننده‌ی نهایی نخواهند بود و بسته به جایگاه یک بازیگر در زنجیره، نقش متفاوتی خواهند داشت. به عنوان مثال یک تولیدکننده یا کارخانه گاهی در قامت مشتری یک سرویس مشخص ظاهر شده و سفارشی می‌دهد که دیگر تولیدکنندگان قابلیت ارائه‌ی آن سرویس مشخص را دارا خواهند بود.

از آنجایی که بخش‌های فیزیکی محصول در فرآیند تولید، به عنوان کالایی نیمه‌ساخته بین سرویس‌دهندگان ابری به‌منظور تکمیل فرآیند، حمل می‌شوند، ردیابی لحظه‌ای محموله و دستیابی بلادرنگ به اطلاعاتی کامل از محموله نظیر مشخصات سرویس‌دهندگان، زمان ساخت، زمان حمل‌ونقل، کیفیت، هزینه، درصد نقص و خرابی و ... بسیار حیاتی می‌باشد. استفاده از فناوری‌های IoT در طی فرآیند ساخت و تولید ابری کمک شایانی به دستیابی به این اطلاعات مهم و حیاتی خواهد نمود و این اطلاعات در زمان واقعی و بلادرنگ در اختیار شرکا و بازیگران یک زنجیره‌ی تامین قرار خواهد گرفت. به‌عنوان مثال یک نمایانی کاملی از مراحل و فرآیند ساخت در اختیار مشتری قرار می‌گیرد و همچنین هر سرویس‌دهنده‌ی ابری پس از دریافت محموله‌ای که باید روی آن کار انجام دهد، با استفاده از ابزارهای IoT یا استفاده از تگ RFID موجود بر روی محموله‌ی دریافتی، تمامی اطلاعات لازم را در مورد مراحلی که از ابتدا طی شده است به‌دست می‌آورد و محموله را پس از ارائه‌ی سرویس مدنظر با اطلاعات جدید نسبت به مرحله‌ی قبلی برای سرویس‌دهنده‌ی بعدی ارسال خواهد کرد. از این رو میزان نقص در هر مرحله از فرآیند ساخت، قابل ردگیری بوده و مسائلی مانند سرقت یا تجاوز از برنامه و زمان‌بندی تولید به حداقل خواهند رسید.

فناوری IoT به‌طور کلی سبب ایجاد و بهبود کارکردهایی چون اتصالات، ارتباطات، رایانش و کنترل خواهد شد. IIoT اتصال و ارتباط کامل میان منابع تولید در کارگاه‌ها و خارج از کارگاه‌های تولیدی را فراهم می‌آورد و کنترل خودکار منابع، محصولات نیمه‌ساخته و نهایی، حمل و تحویل آن‌ها را ممکن خواهد ساخت. این به معنای آن است که مرز IIoT فراتر از یک کارخانه یا یک سازمان گسترش می‌یابد و می‌تواند نقش ارتباطی و کنترلی را در بین

سازمان‌های موجود در یک زنجیره‌ی تامین بر عهده داشته باشد. ارائه‌ی کارکرد کنترلی از سوی IIoT در طول زنجیره‌ی ابری به‌صورت شناسایی، رویت‌پذیری و ردیابی محصولات نیمه‌ساخته و نهایی محقق خواهد شد. IIoT همه چیز از جمله ماشین‌آلات و دستگاه‌ها، منابع سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تولید، کانتینرها، کارکنان، کارشناسان، شرکای زنجیره‌ی تامین را به هم و به پلت‌فرم ابری متصل می‌سازد و این مهم به تسهیم اطلاعات و سرعت بخشیدن به انجام سفارشات ساخت و تولید کمک خواهد کرد. فناوری‌های مدرن و به‌روزِ IIoT به‌دلیل داشتن ظرفیت‌های رایانشیِ با عملکرد بالا[1]، قابلیت پردازش مسائل پیچیده در زمان کم را ارائه می‌کنند.

در یک زنجیره‌ی تامین ابری فناوری IoT صنعتی، دستگاه‌ها و ماشین‌آلات مجهز به Wi-Fi و اینترنت اشیا و همچنین RFIDها وظیفه‌ی ایجاد و پردازش اطلاعات و همچنین تسریع در جمع‌آوری داده‌ها را برعهده خواهند داشت. پلت‌فرم‌های ابریِ صنعتی مثل پلت‌فرم تولید ابری و یا به شکلی جامع‌تر، پلت‌فرم زنجیره‌ی تامین ابری وظیفه‌ی برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، کنترل تولید و تخصیص بهینه‌ی سرویس‌ها به سرویس‌دهنده‌ها به منظور ساخت و تحویل محصول و همچنین ارائه‌ی سرویس‌های ابری را برعهده دارد.

1. high-performance

فصل سوم

روش پژوهش

۳ـ۱ مقدمه

همان‌طور که در فصل نخست اشاره شد، پژوهش حاضر در راستای هوشمندسازی زنجیره‌ی تامین، در دو بخش مجزا ابتدا به توسعه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای سیستم ساخت و تولید ابری در جهت ایجاد زنجیره‌ی ابری با بهره‌گیری از سرویس‌دهندگان ابری می‌پردازد؛ مدل ریاضی توسعه داده‌شده نیز از جنس مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط می‌باشد و سپس در ادامه‌ی پایان‌نامه، چالش‌های استفاده از اینترنت اشیای صنعتی مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. چالش‌های ارائه شده که معیارهای پژوهش محسوب می‌گردند با روش کتاب‌خانه‌ای حاصل شده و دسته‌بندی این چالش‌ها محقق‌ساخته می‌باشد. ارزیابی چالش‌های مذکور با کمک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره‌یِ AHP فازی[1] و با رویکرد تحلیل توسعه‌ی چانگ صورت گرفته‌است.

۳ـ۲ مدل ریاضی

در این بخش ابتدا چیستی مدل ارائه می‌شود و به‌دنبال آن یک طبقه بندی از انواع مدل‌ها معرفی می‌گردد و در نهایت نیز مدل ریاضی و مدل‌سازی ریاضی شرح داده خواهد شد.

۳ـ۲ـ۱ مفهوم مدل

مدل نمایشی خاص از یک واقعیت است. در اینجا بر واژه‌ی «خاص» تاکید می‌گردد زیرا مدیران بسته به علاقه و گرایش خود نسبت به مسائل ممکن است از مسائل مشابه درک متفاوتی داشته باشند. وجه مشترک تمامی مدل‌ها ، علی‌رغم گوناگونی آن‌ها ساده‌کردن «واقعیت» است. درواقع یک مدل را می‌توان یک انتزاع انتخابی از واقعیت دانست. یک هنرمند وقتی به طبیعت می‌نگرد نمایشی انتخابی از واقعیت را می‌آفریند، مدل‌ساز نیز چنین کاری را به انجام می‌رساند.

۳ـ۲ـ۲ طبقه بندی مدل‌ها

مدل‌ها را به شیوه‌های گوناگونی می‌توان طبقه‌بندی کرد. جدول (۱ـ۳) نوعی از طبقه‌بندی مدل‌ها را بر مبنای درجه‌ی انتزاعی‌بودن آن‌ها نشان می‌دهد.

1. Fuzzy Analytical Hierarchy process

مدل‌ها	درجه‌ی انتزاع
شمایلی قیاسی سمبولیک	کم‌ترین درجه‌ی انتزاع ↕ بیشترین درجه‌ی انتزاع

جدول(۱ـ۳) طبقه‌بندی مدل‌ها

مدل‌های شمایلی به‌طور کلی شبیه به شی واقعی هستند که در اندازه‌هایی متفاوت تجسم یافته‌اند. برخی از مثال‌های متعارف برای این مدل‌ها عبارتنداز عکس‌ها، نقاشی‌ها، یا مدل‌هایی از خانه‌ها، هواپیما یا ماشین که در مقیاس کوچک‌تر نشان داده شده‌اند. تغییر و دست‌کاری در این مدل‌ها دشوار است.

مدل‌های قیاسی از بعضی از خاصیت‌ها برای نشان دادن برخی دیگر از ویژگی‌ها استفاده می‌کند. مثلا خط راس‌های یک نقشه، قیاسی است از برآمدگی‌های زمین یا رنگ‌های مختلف در نقشه که نشان‌دهنده‌ی آب‌ها، صحراها و ... فرض می‌شوند. فلوچارت‌های کامپیوتری نمونه‌ای دیگر از این مدل‌ها است. این مدل‌ها نسبت به مدل‌های شمایلی قابلیت دست‌کاری بیشتری دارند.

مدل‌های سمبولیک از حروف، اعداد و نمادهای دیگر برای نشان دادن متغیرها و ارتباط بین آن‌ها استفاده می‌کنند و ترجیحا عمومی‌تر و انتزاعی‌تر از دیگر مدل‌ها هستند. این مدل‌ها معمولا بیشترین قابیلت دست‌کاری را دارند.

۳ـ۲ـ۳ پژوهش عملیاتی

پژوهش عملیاتی یا علم مدیریت را می‌توان شاخه‌ای از حوزه‌ی مدیریت قلمداد کرد که رویه‌ی عقلایی، منطقی، سیستماتیک و علمی را در تحلیل فرآیند و مسائل مدیریتی به‌کار می‌گیرد. در پژوهش عملیاتی، مسائل به‌صورت سیستماتیک بررسی می‌شوند و در عمل مدل‌هایی را که نتایج فعالیت‌های مختلف در مسیرهای گوناگون است را نمایان می‌سازد. علم مدیریت شامل تئوری‌های مختلف، روش‌ها، مدل‌ها، ابزارها و تکنیک هایی است که می‌تواند می‌تواند برای به اجرا درآوردن دامنه‌ی تئوری‌های مدیریت، از رفتار فرد، گروه و سازمان گرفته تا تئوری‌های برنامه‌ریزی، کنترل موجودی، تعمیر و نگهداری و تولید را دربر می‌گیرد.

۴ـ۲ـ۳ برنامه‌ریزی خطی

برنامه‌ریزی خطی، مدلی ریاضی برای جست‌وجو و انتخاب بهترین برنامه یا روش انجام کار از میان مجموعه راه‌های ممکن است. از آن‌جا که تمامی روابط ریاضی این مدل از نوع درجه یک هستند، مدل خطی نامیده می‌شوند.

برنامه‌ریزی خطی با بهینه‌کردن (حداکثر یا حداقل نمودن) متغیر وابسته‌ای که به‌صورت خطی با مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل مرتبط می شود و با در نظر گرفتن تعدادی محدودیت خطی تشکیل‌یافته از متغیرهای مستقل در ارتباط است.

متغیرهای مستقل، متغیرهایی هستند که مقدار آن‌ها توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود و مقدار متغیرهای وابسته را که ستاده‌ی مدل خواهند بود تعیین خواهند کرد. متغیرهای وابسته معمولا در در تابع هدف که اغلب بیان‌گر مفاهیم اقتصادی مانند سود، هزینه، درآمد، تولید، فروش، مسافت، زمان و .... است ارائه می‌گردند. متغیرهای مستقل در برنامه‌ریزی خطی به‌عنوان متغیرهای تصمیم شناخته شده که مقدارشان نامشخص است و تصمیم‌گیرنده باید مقدار این متغیرها را بعد از حل مدل به‌دست آورد.

هر مدل برنامه‌ریزی خطی از سه قسمت تشکیل می شود :

۱) تابع هدف؛ تابعی است ریاضی که از متغیرهای تصمیم تشکیل یافته و بیان‌گر هدف مدل است. این تابع نشان‌دهنده‌ی خواسته‌ها و آرزوهای تصمیم‌گیرنده مانند بیشینه‌سازی سود کمینه‌سازی هزینه است.

تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی عمدتا به یکی از این دو صورت زیر است :

$$Max\ Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \quad \text{یا} \quad Min\ Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

۲) محدودیت؛ عبارت است از یک معادله یا نامعادله‌ی متشکل از متغیرهای تصمیم که محدودیت‌های مدل را برای دست‌یابی به اهداف مدل بیان می‌کند.

۳) وضعیت‌های متغیر تصمیم؛ متغیر تصمیم با توجه به مصداق واقعی تعیین شده برای آن عمدتا به یکی از دو صورت زیر است :

الف ـ متغیر تصمیم غیر منفی $x_j \geq 0 \qquad (j = 1, \dots, n)$

ب ـ متغیر تصمیم آزاد در علامت. در این حالت x_j می‌تواند مقادیر مثبت، منفی یا صفر را اختیار کند.

۱ـ۴ـ۲ـ۳ شکل کلی برنامه‌ریزی خطی

شکل کلی مدل برنامه ریزی خطی به‌صورت زیر است :

$$\text{(بهینه کنید)} \qquad Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n (\leq \text{ یا } \geq \text{ یا } =) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n (\leq \text{ یا } \geq \text{ یا } =) b_2 \\ \vdots \\ a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \cdots + a_{in}x_n \left(\leq \text{ یا } \geq \text{ یا } =\right) b_i \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n (\leq \text{ یا } \geq \text{ یا } =) b_m \end{cases}$$

$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$ یا (متغیرهای آزاد در علامت)

که در آن :

x_j ، $(j = 1, \dots, n)$: مقدار متغیرهای تصمیم

Z : مقدار تابع هدف

$c_1, c_2, \dots, c_n$: ضرایب متغیرهای تصمیم در تابع هدف

$a_{1n}, a_{2n}, \dots, c_{in}$: ضرایب متغیرهای تصمیم در محدودیت‌ها

$b_1, b_2, \dots, b_m$: اعداد سمت راست

n : تعداد متغیرهای تصمیم

m : تعداد محدودیت‌ها

مدل کلی برنامه‌ریز خطی فوق دارای مشخصات زیر است :

۱) تابع هدف به‌صورت Max یا Min است.

۲) هر محدودیت از مدل فقط یکی از سه حالت $\geq$ یا = یا $\leq$ را می‌تواند اختیار نماید.

۳) هر متغیر تصمیم می‌تواند غیرمنفی یا آزاد در علامت باشد.

۴) مقادیر c_j و b_i و a_{ij} مقادیر ثابتی هستند که به‌عنوان دانسته‌های مدل از قبل تعیین شده‌اند و پارامتر نامیده می‌شوند.

۳ـ۲ـ۴ـ۲ـ مفروضات برنامه‌ریزی خطی

از مسائل واقعی می‌توان مدل‌های گوناگونی ساخت، ولی درصورتی از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی می‌توان استفاده کرد که در ساخت آن مدل، فرض‌های زیر در نظر گرفته شوند :

۳ـ۲ـ۴ـ۲ـ۱ تناسب

طبق این فرض، هر فعالیت به‌تنهایی و مستقل از سایر فعالیت‌ها عمل می‌کند، به‌طوری‌که هریک از متغیرها چه در تابع هدف و چه در محدودیت‌ها مستقیما متناسب با تغییر سطح فعالیت تغییر یابند؛ بدین معنا که مقدار تابع هدف و میزان مصرف منابع دقیقا متناسب با این متغیر، تغییر می‌کنند.

۳ـ۲ـ۴ـ۲ـ۲ جمع‌پذیری

این فرض بیان‌گر آن است که تابع هدف از مجموع متغیرها به‌دست می‌آید. متشابها هریک از محدودیت‌ها باید مجموع مقادیر مصرف‌شده‌ی منابع، متناظر با محصولت تولیدشده، باشد. طبق این فرض عبارتی حاصل ضربی در مدل وجود نخواهد داشت.

۳ـ۲ـ۴ـ۲ـ۳ بخش‌پذیری

متغیرهای تصمیم بعضی از مسائل درصورتی معنی فیزیکی دارند که عدد صحیح باشند، ولی جواب حاصل از برنامه‌ریزی خطی لزوما عدد صحیح نیست. بنابراین فرض بخش‌پذیری به معنی آن است که هر واحد فعالیت به هر کسر دل‌خواهی قابل تقسیم است. لذا متغیرهای تصمیم می‌توانند مقادیر غیرصحیح نیز باشند.

۴ـ۲ـ۳ـ۲ـ۳ معین بودن

فرض معین بودن به این معنی است که تمام پارامترهای مدل مقادیری ثابت و غیراحتمالی هستند. این فرض معمولا در مسائل واقعی صادق نیست. مسائل برنامه‌ریزی خطی معمولا برای تصمیم‌گیری‌های آتی فرموله می‌شوند. بنابراین پارامترها بر اساس پیش‌بینی آینده تعیین می‌شوند و لاجرم جنبه‌ی احتمالی دارند. به این دلیل قاعدتا ضروری است که پس از به‌دست آوردن جواب بهینه‌ی برنامه‌ریزی خطی، تحلیل حساسیت روی پارامترهای آن انجام گیرد. مقصود از این کار تشخیص پارمترهای نسبتا حساس است تا تخمین آن‌ها با دقت بیشتری انجام گیرد. سپس جوابی انتخاب می‌شود که علی‌رغم تغییرات پارامترهای حساس هم‌چنان یک جواب خوب باقی بماند.

۵ـ۲ـ۳ برنامه‌ریزی عدد صحیح

مسائل واقعی بسیاری وجود دارد که هرگاه در قالب مدل ارائه شود، بیان عددی مقادیر متغیرهای تصمیم آن‌ها باید به‌صورت عدد صحیح باشد.مثل تعداد نیروی های انسانی یا تعداد ماشین‌آلات. برنامه‌ریزی عدد صحیح، اصطلاحی عام برای مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با شرط عدد صحیح بودن متغیرها است. این مدل‌ها باتوجه به خطی یا غیرخطی بودن تابع هدف و محدودیت‌های موجود در مسائل، به دو گروه کلی برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح تقسیم می‌شوند.

مدل‌های خطی برنامه‌ریزی عدد صحیح به سه صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح محض (مدلی که تمام متغیرهای آن عدد صحیح است)، برنامه‌ریزی صفر ـ یک (مدلی تمام متغیرهای آن محدود به صفر و یک است) و در نهایت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (مدلی که تنها تعدادی از متغیرهایش عدد صحیح است) تقسیم می‌شوند[۷۳].

۳ـ۳ تصمیم‌گیری چندمعیاره

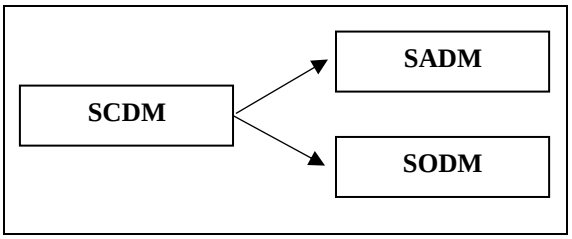
از آغاز تاریخ تا کنون تصمیم را می‌توان نتیجه و انعکاس اندیشه‌ی بشر دانست. فیلسوفان بزرگی همچون ارسطو، افلاطون و توماس آکویناس[1] درباره‌ی ظرفیت انسان‌ها برای اخذ تصمیم منطقی به‌شکل مبسوطی بحث کرده‌اند و این خصلت انسانی را وجه تمایز انسان و حیوان شمرده‌اند. فرهیختگانی مانند لویلا در قرن شانزدهم و بنجامین فرانکلین در قرن هجدهم، یک تصمیم را حاصل نظرات متفاوتی می‌دانند که بعضی به نفع آن و بعضی علیه آن رای داده‌اند. به عبارت دیگر یک تصمیم، حاصل اتفاق و تکثر نظرات است[۷۴].

تصمیم‌گیری را می‌توان طریقه‌ی عمل یا حرکت در مسیر خاصی تعریف کرد که با تامل و به صورت آگاهانه، از بین روش‌های مختلف برای نیل به یک هدف مطلوب، انتخاب شده است. بنابراین تصمیم‌گیری مستلزم انتخاب راهی از میان راه‌هاست؛ یعنی اگر تنها یک راه وجود داشته باشد، دیگر تصمیم‌گیری معنا ندارد[۷۵].

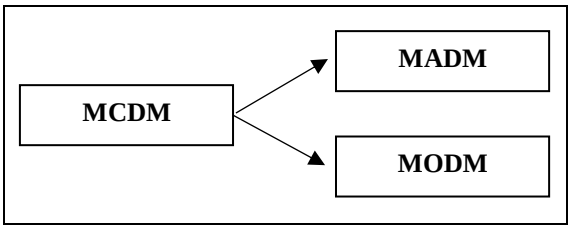
اگر مجموعه‌ای از روش‌ها، شیوه‌ها، تکنیک‌ها، برنامه‌ریزی‌ها، سازمان‌دهی‌ها، بودجه‌بندی‌ها، هماهنگی‌ها و ... را مدیریت علمی بنامیم که امروزه در تمامی سازمان‌های تولیدی، خدماتی، صنعتی و تجاری، به کار گرفته می‌شود، این مجموعه در محافل آکادمیک شامل دروسی مانند سازمان و مدیریت، مدیریت منابع انسانی، رفتار سازمانی، تحلیل‌های آماری، مدل‌های کمی و .... هست که تدریس و بررسی می‌شوند. در واقع این مجموعه شامل دو بخش کمی و کیفی بوده که بخش کمی آن را علم مدیریت می‌گویند. علم مدیریت را علم تصمیم‌گیری نیز می‌نامند. علم مدیریت را می‌توان به دو بخش مجزا تقسیم کرد که بخش اول مربوط به تحقیق در عملیات است که پیش‌تر در این فصل توضیح داده‌شد و بخش دوم تصمیم‌گیری[2] نامیده می‌شود. در یک تعریف کلی‌تر، تصمیم‌گیری خود مجموعه‌ی مفصلی است که هم به شکل تک‌معیاره (می‌تواند یا به صورت تک‌شاخصه یا به صورت تک‌هدفه باشد) و هم به شکل چندمعیاره (می‌تواند یا به صورت چندشاخصه یا به صورت چندهدفه باشد) مطرح می‌گردد. معیار را می‌توان اندازه‌ی اثربخشی خواند. معیار مبنا و اساس ارزیابی است و در قالب شاخص‌ها یا اهداف ظاهر می‌شود.

1. T.Aquinas
2. Decision Making

هنگامی که یک معیار (شاخص یا هدف) داشته باشیم، از تصمیم‌گیری تک‌معیاره[1] یا SCDM سخن به میان می‌آید که خود شامل دو بخشِ تصمیم‌گیری تک‌شاخصه[2] یا SADM و تصمیم‌گیری تک‌هدفه[3] یا SODM است.



تصمیم‌گیری تک‌هدفه همان مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی می‌باشد و تصمیم‌گیری تک‌شاخصه در گذشته، در محافل آکادمیک با عنوان نظریه‌ی تصمیم مورد بحث قرار می‌گرفت. هنگامی که چندمعیار در تصمیم‌گیری موجود باشند، تصمیم‌گیری چندمعیاره[4] (MCDM) مطرح می‌گردد که این نیز شامل دو بخشِ تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) و تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM) خواهد بود[۷۴].



برنامه‌ریزی خطی فرض می‌کند که تصمیم‌گیرندگان تنها یک هدف، به‌عنوان مثال حداکثر کردن سود یا حداقل نمودن هزینه‌ها را دنبال می‌کنند. در نظر گرفتن تنها یک هدف ممکن است سبب بروز مشکلاتی شود، برای مثال اگر شرکتی در تصمیم‌گیری‌هایش تنها به سود فکر کند و از اهداف دیگری چون رضایت مشتریان، رضایت کارکنان، تنوع تولید و ... غافل شود ممکن است در بلندمدت نتواند به بقایش ادامه دهد. تصمیم‌گیری‌های چندهدفه (MODM) برای رفع چنین مسائلی مطرح شد. در مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) تعدادی

1. Single Criteia Decision Making
2. Single Attribute Decision Making
3. Single Objective Decision Making
4. Multi Criteia Decision Making

گزینه، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد و در مورد آن‌ها، یک نوع اولویت‌بندی انجام می‌شود. گاهی به جای گزینه، مترادف‌های آن‌ها مانند استراتژی، راه‌کار و ... به کار برده می‌شود.

الف ـ گزینه : هنگامی که بیش از یک راه‌کار، راهبرد، راه‌حل یا عمل برای حل یک مسئله وجود داشته، هر کدام از شیوه‌های مختلف انجام آن کار را یک گزینه می‌نامند. برای مثال اگر هدف، انتخاب بهترین تامین‌کننده باشد، فهرستی از تمام تامین‌کنندگان بالقوه گزینه‌های یک تولیدکننده را تشکیل می‌دهند. یا در انتخاب یک خودرو تمام خودروهایی که مشخصات موردنیاز یک خریدار را دارا هستند گزینه‌های آن فرد در خرید خواهند بود[۷۴].

در پژوهش حاضر تصمیم‌گیری چندمعیاره و از نوع چند شاخصه یعنی MADM به‌کار گرفته شده است. در MADM گزینه‌ها رقیب یک‌دیگر می‌باشند؛ یعنی در شاخص‌های مختلف، عملکردی نزدیک به هم دارند و ذهن انسان نمی‌تواند بهترین گزینه را باتوجه به شاخص‌های موجود تشخیص دهد. در واقع نقش شاخص‌ها در MADM این است که گزینه‌ها براساس این شاخص‌ها ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند.

ب ـ شاخص : هر مفهوم، ملاک، ویژگی، عنصر یا عامل که بر مبنای آن گزینه‌های رقیب ارزیابی می‌شوند، شلخص نام دارد. شاخص‌ها یا ماهیت مثبت دارند و یا دارای ماهیتی منفی هستند. چنان‌چه با زیاد شدن مقدار عددیِ شاخص، مطلوبیت مورد نظر افزایش یابد، مانند هنگامی که درآمد ماهانه‌ی شرکتی از ۱۵ به ۲۰ میلیون تومان افزایش می‌یابد، شاخص مورد نظر (شاخص درآمدی) از نوع مثبت (x^+ یا c^+) است؛ در واقع شاخص درآمد برای سازمان شاخصی مثبت می‌باشد. اگر با زیادشدن مقادیر عددی یک شاخص، مطلوبیت موردنظر تصمیم‌گیرندگان کاهش یابد، مثل کاهش مطلوبیت ناشی از افزایش زمان اتمام پروژه برای یک سازمان، شاخص مورد نظر از نوع منفی (x^- یا c^-) خواهد بود.

مثبت یا منفی بودن شاخص‌ها مطابق با گرایشات تصمیم‌گیرندگان تعریف می‌گردد؛ مثلا حقوق دریافتی برای یک کارگر شاخصی مثبت و هم‌زمان برای یک کارخانه‌دار شاخصی منفی (به‌عنوان هزینه) است. هم‌چنین ممکن است یک شاخص با تصمیم‌گیرنده‌ای واحد در یک دامنه شاخص مثبت و در دامنه‌ای دیگر شاخص منفی تلقی گردد؛ مثلا حقوق دریافتی برای کارگر یک سازمان در دامنه‌ی بالای دو میلیون تومان ممکن است شاخصی مثبت و در دامنه‌ی پایین‌تر از دو میلیون تومان شاخصی منفی محسوب گردد.

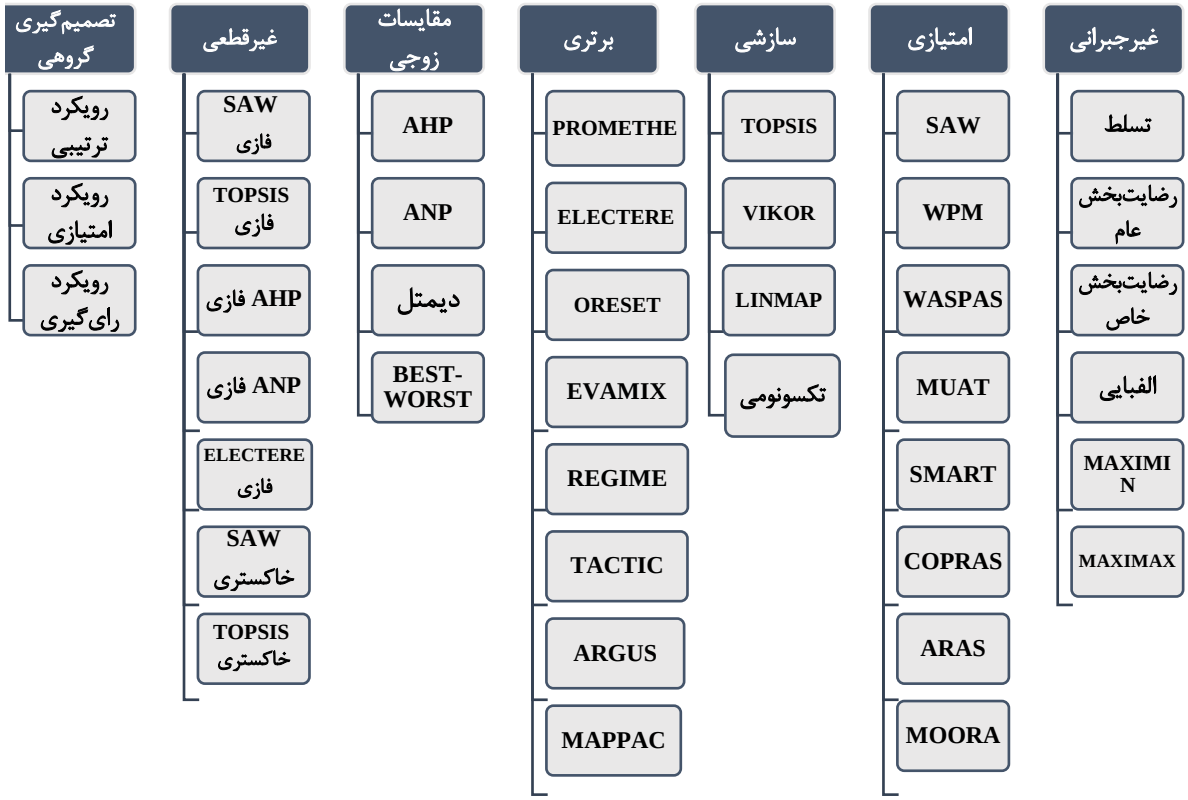
جدول زیر برخی از ویژگی‌های یک شاخص خوب برای تصمیم‌گیری[۷۴] را ارائه می‌کند.

شاخص باید	شرح
با هدف تصمیم‌گیری منطبق باشد	مثلا در انتخاب خودرو ممکن است یکی از شاخص‌های مورد نظر، اندازه‌ی خودرو باشد. مشکلی که وجود دارد این است که اندازه می‌تواند به هریک از موارد ظرفیت بار، ظرفیت مسافر، یا اندازه‌ی کلی خودرو اشاره داشته باشد. در دو مورد اول، اندازه‌ی بزرگ‌تر بهتر است؛ اما در مورد آخر در شهرهای پر جمعیت شاخص منفی محسوب می‌گردد.
قابل فهم باشد	برای مثال ممکن است دو نفر هم‌اتاقی قصد اجاره‌ی خانه‌ی دانشجویی را داشته باشند و در مراحل اولیه، توافق کنند که فاصله تا نزدیک‌ترین ایستگاه اتوبوس، یک شاخص مهم است؛ اما هنگام ارزیابی گزینه‌ها مشخص می‌گردد که یک نفر از آن‌ها این شاخص را دارای ماهیتی مثبت می‌داند و علاقه‌مند است تا هر روز با اتوبوس به دانشگاه رود در حالی که فرد دیگر به دنبال خانه‌ای است که فاصله بیشتری با ایستگاه و شلوغی و آلودگی‌های صوتی و محیطی ناشی از آن داشته باشد.
زائد نباشد	برای مثال در مقایسه‌ی چند محیط کاری برای کارکنان اگر دو شاخصِ میزان دمای محیط و شاخصِ وجود تجهیزات حرارتی ـ برودتی مبنای مقایسه باشد، یکی از این دو شاخص برای ارزیابی این محیط‌ها زائد است.
مستقل یا وابسته بودنش روشن باشد	زمانی که مقادیر یک شاخص یا درجه‌ی تبادل بین دو شاخص وابسته به مقادیر شاخص دیگری نباشد، گفته می‌شود شاخص‌ها مستقل هستند؛ مثلا دو شاخصِ میزان بی‌کاری و شاخصِ تولید ناخالص ملی، ممکن است مبنای ارزیابی اقتصادی جوامع باشند. اگر بتوان اثبات کرد که با افزایش بی‌کاری، تولید ناخالص ملی کاهش می‌یابد، در این صورت بین این دو شاخص همبستگی وجود دارد و استقلال آن‌ها نقض می‌شود.
عملیاتی باشند	شاخص‌هایی که برای مقایسه‌ی گزینه‌ها انتخاب می‌شوند، نباید آن‌قدر زیاد و پیچیده باشند که منابع لازم در جمع‌آوری ارزش گزینه‌ها به ازای شاخص‌ها و ارزش شاخص‌ها بیشتر از منابع در دسترس باشند. در واقع منافعی که از فرآیند تصمیم‌گیری‌ها نصیب سازمان‌ها یا تصمیم‌گیرندگان می‌شود نباید کم‌تر از هزینه‌های اجرای آن باشند.

جدول(۲ـ۳) ویژگی شاخص‌های مناسب

۱ـ۳ـ۳ طبقه‌بندی تکنیک‌های MADM

از نظر نویسندگان مختلف هنوز طبقه‌بندی قابل‌قبولِ جامعی برای تکنیک‌های MADM ارائه نشده است؛ اما بعضی از صاحب‌نظران در حوزه‌ی MADM مانند هوانگ و یون تکنیک‌ها را به دو دسته‌ی غیرجبرانی و جبرانی تقسیم کرده‌اند. تکنیک‌های غیرجبرانی آن دسته از تکنیک‌ها می‌باشند که در آن‌ها تبادل بین شاخص‌ها وجود ندارد؛ به عبارت دیگر، ضعف یا قوت یک گزینه در یک شاخص، قوت یا ضعف این گزینه در شاخص‌های دیگر را پوشش نمی‌دهد. اما تکنیک‌های جبرانی این تبادل را در نظر می‌گیرند. اصغری‌زاده و محمدی یک تقسیم‌بندی از تکنیک‌های MADM را به‌صورت نشان می‌دهند[۷۴].



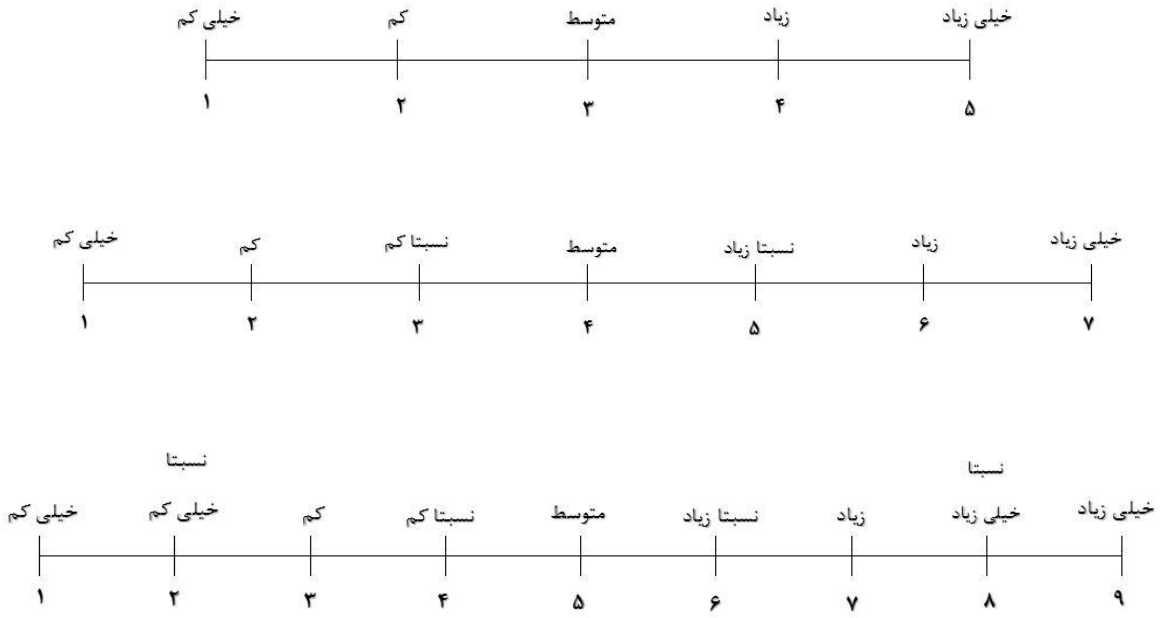
شکل(۱ـ۳) طبقه‌بندی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

بسیاری از تکنیک‌های اشاره شده‌ی فوق به تمهیدات سه‌گانه‌ی کمی‌سازی، بی‌بعدسازی و موزون‌سازی[۷۳] نیاز دارند تا به حل مسئله بپردازند.

الف ـ کمی‌سازی

عبارت است از تبدیل متغیرهای کلامی به متغیرهای عددی. در بسیاری از مواقع، ارزش گزینه‌ها به ازای شاخص‌ها را نمی‌توان به طور مستقیم اندازه گیری کرد؛ به همین منظور، تصمیم‌گیرنده ارزیابی‌های خود را با متغییرهای کلامی بیان می‌کند. برای مثال اگر درباره‌ی زیبایی یک خودرو سوال شود، پاسخ‌ها به این صورت هستند : خیلی زیبا است، به هیچ وجه زیبا نیست و فوق العاده است؛ زیرا زیبایی یک شاخص کلامی (کیفی) است.

برای کمی‌سازی، مقیاس‌های مختلفی وجود دارد که از متداول‌ترین این مقیاس‌ها، می‌توان طیف‌های دو قطبی را نام برد که رایج‌ترین آن‌ها طیف‌های دوقطبی لیکرت (۵ نقطه‌ای)، پورتر(۷ نقطه‌ای) و ده‌دهی (۱۰ نقطه‌ای) هستند. شکل‌های زیر به ترتیب این طیف‌های دوقطبی را نمایش می‌دهند.



شکل(۲ـ۳) انواع طیف‌های دوقطبی

ب ـ بی‌بعدسازی

معمولا شاخص‌های یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری، واحد یکسانی ندارند؛ مثلا در مقایسه‌ی چند خودرو با هم، شاخص‌هایی چون حداکثر سرعت، قدرت، زیبایی، قیمت و ایمنی واحدهای متفاوتی از هم دارند و عملیات ریاضی روی اعداد یا واحدهای مختلف بی‌معنا می‌باشد. نمی‌توان ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت که مربوط به شاخص سرعت است را با ۵۰ اسب بخار که شاخص قدرت موتور می‌باشد جمع کرد. رایج‌ترین روش بی‌بعدسازی یا نرمالایزکردن شامل روش‌های بی‌بعدسازی نسبتی، اقلیدسی، خطی، فازی، توزیع نرمال و روش مرکزگرا می‌باشند که سه روش نخست در بخش‌های بعدی ارائه شده‌اند.

ج ـ موزون‌سازی

بیشتر شاخص‌های حاضر در یک مسئله‌ی چندشاخصه میزان اهمیت یکسانی ندارند. مثلا در انتخاب یک شغل مناسب از بین چند شغل شاخص‌هایی مانند درآمد و مدت زمان کارکردن برای یک متقاضی شغل دارای اهمیت یکسانی نیستند. در یک تقسیم‌بندی کلی، روش‌های وزن‌دهی را به دو دسته‌ی ذهنی و عینی تقسیم می‌کنند. وزن ذهنی به مقدار اهمیت شاخص‌ها نزد خبرگان یا تصمیم‌گیرندگان گفته می‌شود و وزن عینی به طور مستقیم از داده‌های مسئله استخراج خواهد شد. در واقع وزن ذهنی به ماهیت مسئله و شاخص‌های آن نزد خبرگان یا

تصمیم‌گیرندگان بستگی دارد؛ اما وزن عینی بیشتر به فاصله‌ی داده‌ها از هم بستگی خواهد داشت.

روش‌های فراونی نسبی، میانگین حسابی، میانگین حسابی موزون، تکنیک SWARA و Best-Worst از جمله مهم‌ترین روش‌های وزن‌دهی ذهنی و روش‌های آنتروپی شانون، روش CRIRIC ، تکنیک LINMAP زوجی ازجمله مهم‌ترین روش‌های عینی هستند[۷۳].

۲ـ۳ـ۳ تکنیک مقایسات زوجی

هنگامی که تصمیم‌گیرنده اطلاعات کافی درباره‌ی عملکرد شاخص‌ها نداشته باشد، یکی از زمینه‌های جمع‌آوری اطلاعات درباره‌ی ارزش شاخص‌های مورد بررسی یک پژوهش استفاده از ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها نسبت به هم است. با داشتن این نوع ماتریس، دسته‌ای از تکنیک‌ها به نام تکنیک‌های مقایسات زوجی مثل AHP، ANP، DEMATEL و Best-Worst در تصمیم‌گیری چندشاخصه شکل گرفته‌اند.

ماتریس‌های مقایسات زوجی، ماتریس‌های مربعی هستند که تعداد سطر و ستون‌های آن‌ها برابر با شاخص‌هایی است که با هم مقایسه می‌شوند. مقدار درایه‌ها بر روی قطر اصلی این ماتریس برابر با یک هستند. اما درایه‌های دیگر می‌توانند مقادیر مختلفی داشته باشند.

	$A_۱$	$A_۲$	...	A_m
$A_۱$	۱	$a_{۱۲}$	...	$a_{۱m}$
$A_۲$	$a_{۲۱}$	۱	...	$a_{۲m}$
⋮	⋮	⋮	⋱	⋮
A_m	$a_{m۱}$	$a_{m۲}$	...	۱

شکل(۳ـ۳) ماتریس مقایسات زوجی

در تشکیل ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها از سیستم ترجیحاتی استفاده می‌شود که توماس ال ساعتی آن را مطرح ساخت و در ادبیات تصمیم‌گیری نیز پذیرفته شده است.

شدت ارجحیت	ارزش
ارجحیت یکسان معیار i و معیار j	۱
ارجحیت خیلی کم معیار i بر معیار j	۲
ارجحیت کم معیار i بر معیار j	۳
ارجحیت نسبتا کم معیار i بر معیار j	۴
ارجحیت متوسط معیار i بر معیار j	۵
ارجحیت نسبتا زیاد معیار i بر معیار j	۶
ارجحیت زیاد معیار i بر معیار j	۷
ارجحیت خیلی زیاد معیار i بر معیار j	۸
ارجحیت بی‌نهایت زیاد معیار i بر معیار j	۹

جدول(۳ـ۳) طیف ارجحیت ساعتی

برای تشکیل ماتریس مقایسات زوجی می‌توان از پرسشنامه‌ای همانند پرسش‌نامه‌ی زیر استفاده کرد که خبره‌ای سه شاخص زیر را با یکدیگر به صورت زوجی مقایسه کرده است.

i	درجه اهمیت																	j
	ارجحیت بی نهایت	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت کم	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت یکسان	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت کم	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت بی نهایت	
A	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	B
A	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C
B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C

جدول(۴ـ۳) مقایسات زوجی

پرسش‌نامه‌ی فوق ماتریس مقایسات زوجی زیر را نتیجه می‌دهد.

	A	B	C
A	۱	$\frac{۱}{۶}$	۳
B	۶	۱	۵
C	$\frac{۱}{۳}$	$\frac{۱}{۵}$	۱

شکل(۴ـ۳) مثال عددی ماتریس مقایسات زوجی

جمع‌آوری داده‌ها یا از یک خبره اخذ می‌شود یا ماتریس مقایسات زوجی، نظر توافقی خبرگان است. در صورت وجود K ماتریس مقایسات زوجی که K خبره آن‌ها را ارائه کرده‌اند، چنان‌چه قضاوت‌های فردی خبرگان سازگار باشد، می‌توان ماتریس مقایسات زوجی تلفیقی حاصل ترکیب نظر خبرگان را تشکیل داد. سازگاری قضاوت‌های فردی خبرگان به این معناست که اگر مثلا شدت ارجحیت A بر B برابر با ۳ باشد و شدت ارجحیت B بر C برابر با ۲ باشد، آن‌گاه شدت ارجحیت A بر C باید حدود ۶ باشد. چنان‌چه این شدت دقیقا برابر با ۶ باشد، سازگاری کامل است. تلفیق نظر خبرگان با اخذ میانگین هندسی از درایه‌های متناظر حاصل می‌گردد[۷۴].

$$a'_{i,j} = \sqrt[k]{\prod_{p=۱}^{k} a_{i,j,p}}$$

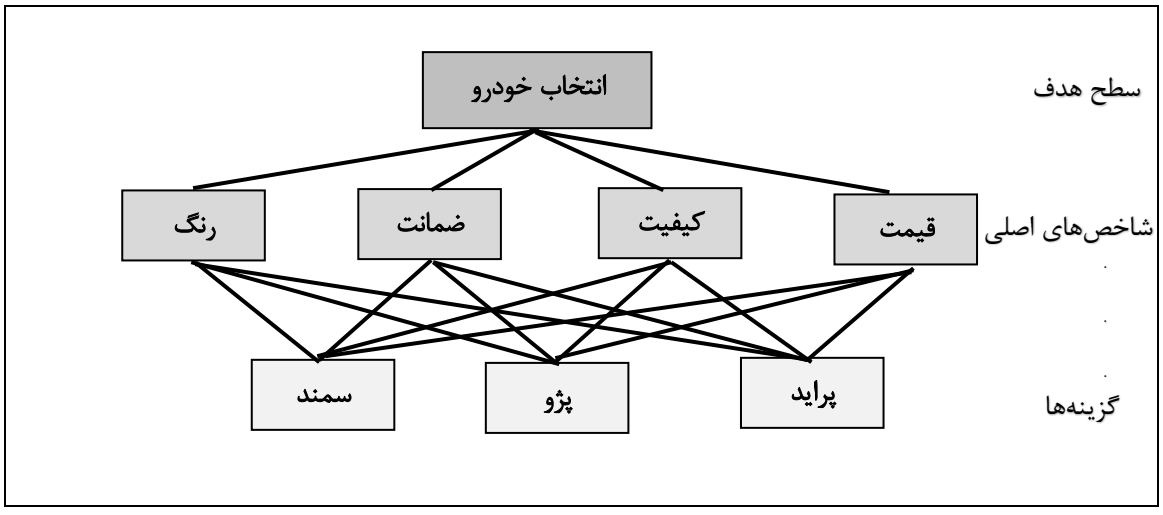
P شماره تصمیم‌گیرنده ، k تعداد تصمیم‌گیرندگان و (i, j) شاخص‌ها یا گزینه‌های مورد مقایسه است.

AHP ۳ـ۳ـ۲ـ۱

روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی توسط ساعتی در دهه‌ی ۱۹۷۰ پیشنهاد شد. این روش، مانند آن‌چه در مغز انسان انجام می‌شود، به تحلیلی مسائل می‌پردازد. AHP تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد اثرات متقابل و هم‌زمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و نامعین را تعیین کنند. این فرآیند، تصمیم‌گیرندگان را یاری می‌کند تا اولویت‌ها را بر اساس اهدف، دانش و تجربه‌ی خود تنظیم نمایند؛ به گونه‌ای که احساسات و قضاوت‌های خود را در نظر بگیرند. AHP بر اساس سه اصل زیر بنا نهاده شده است :

الف ـ اصل ترسیم درخت سلسله مراتبی

در ترسیم درخت سلسله‌مراتبی یک مسئله‌ی کلی، به چندین مسئله‌ی جزئی‌تر تجزیه می‌شود؛ در واقع تجزیه‌ی یک مسئله‌ی بزرگ‌تر به مسائل کوچک‌تر، بیان‌گر روابط موجود بین عناصر کوچک‌تر است؛ به گونه‌ای که با انجام این عمل، روابط و مفاهیم مسئله‌ی مورد تصمیم‌گیری و همچنین ارتباط هر عنصر با عناصر دیگر، به دقت درک می‌شود. برای مثال اگر هدف یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری خرید خودور باشد، شاخص‌های مورد مطلوب تصمیم‌گیرنده قیمت، کیفیت، رنگ و ضمانت و همچنین گزینه‌ها شامل پژو، سمند و پراید باشند، درخت سلسله‌مراتب به صورت زیر ترسیم خواهد شد :



شکل(۳.۵) درخت سلسله‌مراتب

باید به نکته‌ی مهمی توجه داشت که سطح شاخص‌ها خود می‌توانند دارای سطوح دیگری به نام شاخص‌های فرعی نیز باشند. به عنوان مثال شاخص قیمت خودرو خود می‌تواند تابع

شاخص‌های دیگری چون نوسانات تقاضا، قیمت مواد اولیه، تغییر حقوق و دستمزد، نوسانات ارزی و ... باشد. در نتیجه یک یا چند سطح به نام سطوح شاخص‌های فرعی به سه سطح مدل بالا می‌تواند اضافه شود.

ب ـ اصل تدوین و تعیین اولویت‌ها

تعیین اولویت‌ها به این خاطر است که در بسیاری از موارد انسان نمی‌تواند یک مسئله را به طور کلی درک نماید. بنابراین، آن را به مسائل کوچک‌تر تجزیه می‌کند و با توجه به معیارهای مشخص، بین آن‌ها مقایسات زوجی انجام داده و برتری یک گزینه بر گزینه‌ی دیگر را مشخص می‌کند. سپس این نتایج، وارد مدل‌های مختلف تصمیم‌گیری شده تا درک بهتری از کل مسئله ارائه شود.

ج ـ اصل سازگاری قضاوت‌ها

همان‌طورکه پیش‌تر در این فصل درباره‌ی سازگاری قضاوت‌ها توضیح داده شد، این اصل به دنبال ایجاد ثبات و سازگار کردن نظرات و قضاوت‌ها در مقایسات زوجی بین معیارها می‌باشد[۷۵].

مراحل AHP

پس از آن که گزینه‌ها و شاخص‌ها مشخص شدند، باید بین شاخص‌ها مقایسات زوجی انجام شود و در گام بعدی برای هر شاخص بین گزینه‌ها، مقایسات زوجی انجام صورت گیرد. سپس مراحل زیر انجام شود :

۱) بی‌بعدسازی ماتریس مقایسات زوجی : در مورد بی‌بعدسازی پیش‌تر توضیحاتی ارائه و روش‌هایی نیز معرفی شدند. در اینجا سه مورد از روش‌های فوق الذکر برای بی‌بعدسازی ماتریس مقایسات ارائه می‌گردد.

- بی‌بعدسازی نسبتی : شاخص‌های موجود در یک ماتریس را هم‌زمان همگن و هم‌جهت می‌کند. هم‌جهت شدن بدین معناست که شاخص‌های منفی به مثبت تبدیل می‌شوند. اگر درایه‌های ماتریس‌های اولیه را با a_{ij} و درایه‌های ماتریس‌های بی‌بعدشده را با r_{ij} نشان دهیم خواهیم داشت :

m : تعداد شاخص‌ها

برای شاخص‌های مثبت $r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}}$

برای شاخص‌های منفی $r_{ij} = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{a_{ij}}}$

- بی‌بعدسازی اقلیدسی : در این روش شاخص‌ها همگن می‌شوند اما هم جهت نمی‌شوند؛ بنابراین پس از بی بعدسازی ماهیت شاخص‌ها تغییر نمی‌کند. یعنی شاخص‌های منفی همچنان منفی باقی خواهند ماند.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^{2}}}$$

- بی‌بعدسازی خطی : شاخص‌ها را هم‌زمان همگن و هم‌جهت می‌کند که در نتیجه تمام شاخص‌ها مثبت خواهند شد.

برای شاخص‌های مثبت $r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max(a_{ij})}$

اگر تعدادی از شاخص‌ها در مانریس منفی باشند $r_{ij} = \frac{\min(a_{ij})}{a_{ij}}$

اگر تمام شاخص‌های یک مانریس منفی باشند $r_{ij} = 1 - \frac{a_{ij}}{\max(a_{ij})}$

۲) موزون‌سازی برای به دست آوردن بردار وزن‌های نسبی : ابتدا میانگین حسابی هر سطر ماتریس بی‌بعدشده‌ی شاخص‌ها را بدست می‌آوریم سپس همین کار را برای سطرهای ماتریس گزینه‌ها به ازای هر شاخص انجام می‌دهیم.

۳) ضرب وزن‌های نسبی شاخص‌ها در میانگین گزینه‌ها

۴) رتبه‌بندی گزینه‌ها به شکل نزولی

پس از این مراحل بایستی نرخ ناسازگاری محاسبه شود. برای این کار به ۵ گام زیر نیاز است :

۱) محاسبه‌ی بردار مجموع وزنی[1] : ماتریس مقایسات زوجی (D) را در بردار وزن‌های نسبی ضرب کنید. به بردار حاصل، بردار مجموع وزنی گفته می‌شود.

$$WSV = D \times W$$

۲) محاسبه‌ی بردار سازگاری[2] : عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار وزن‌های نسبی تقسیم کنید. به بردار حاصل، بردار سازگاری گفته می‌شود.

۳) محاسبه‌ی بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ی ماتریس مقایسات زوجی (λ_{max}) : برای این کار کافیست تا میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه گردد.

۴) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری[3] :

$$II = \frac{\lambda_{max} - n}{n - ۱}$$

۵) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری[4] :

$$IR = \frac{II}{IRI}$$

IRI شاخص ناسازگاری تصادفی نام دارد که مقدار آن از جدول (۳.۵) زیر استخراج می‌شود :

۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	n
۱/۵۹	۱/۵۷	۱/۵۶	۱/۵۲	۱/۵۱	۱/۴۹	۱/۴۵	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۴	۱/۱۲	۰/۹۰	۰/۵۸	۰	۰	***IRI***

جدول(۵-۳) شاخص ناسازگاری تصادفی

* نکته : اگر نرخ ناسازگاری، کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱۰ باشد در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد و گرنه تصمیم‌گیرنده باید در مقایسات زوجی بازنگری کند.

1. weighted sum vector
2. consistency vector
3. Inconsistency index
4. Inconsistency ratio

۳ـ۴ منطق فازی

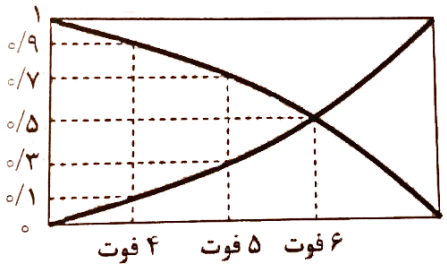
هرگاه داده‌های ماتریس تصمیم یا ماتریس مقایسات زوجی در تصمیم‌گیری، اعداد قطعی نباشند یا به عبارتی دیگر به صورت احتمالی، فازی، خاکستری و ... بیان شده باشند، تصمیم‌گیری چندشاخصه با داده‌های غیرقطعی خواهیم داشت. قرن‌هاست که دنیای علم با منطق ارسطویی سروکار دارد. در این منطق پدیده‌ها دو جنبه دارند : درست یا نادرست، غلط یا صحیح، سیاه یا سفید، صفر یا یک و به‌طور کلی، سیستم این یا آن (Ether-or). علم کلاسیک و محاسبات کامپیوتری نیز بر همین مبنا استوار است؛ درحالی که در تمام جهان حتی یک پدیده را نمی‌توان یافت که صددرصد درست یا نادرست باشد.

در سال ۱۹۳۰، لوکاسیه‌ویچ، منطق‌دان لهستانی، به جای منطق دوارزشی منطق سه‌ارزشی را پایه‌گذاری کرد که شامل سه ارزش ۱، $\frac{۱}{۲}$ و صفر است و بعدا منطق‌دانان آن را به منطق n ارزشی توسعه دادند ($T_n = \left\{۰ , \frac{۱}{n} , \frac{۲}{n} , ... , ۱\right\}$ که n عدد صحیح مثبت است.

منطق فازی نیز یک منطق چندارزشی است. به جای تنها سیاه و سفید، سایه‌های نامحدودی از رنگ خاکستری در بین آن دو وجود دارد. تمایز عمده‌ی منطق فازی و منطق چندارزشی در آن است که در منطق فازی حقیقت و حتی ذات مطالب هم می‌توانند نادقیق باشند. این منطق جهان‌بینی جدیدی است که علی‌رغم ریشه‌داشتن در فرهنگ مشرق‌زمین با نیازهای دنیای پیچیده‌ی امروز نسبت به منطق ارسطویی بسیار سازگارتر است.

در سال ۱۹۳۷، مکس بلک مقاله‌ای با عنوان آنالیز منطق ابهام منتشر نمود و برای اولین بار مجموعه‌ی فازی را با چیزی تعریف کرد که اکنون ما آن را منحنی عضویت می‌نامیم. بلک نشان می‌دهد که هرچیزی هم تا حدودی A و هم تا حدودی نقیض A است. هم قرمز هست و هم نیست. A و نقیض A معکوس هم می‌باشند. اگر درجه‌ی عضویت یک داده در مجموعه‌ی A برابر با ۰/۱ باشد، در مجموعه نقیض A برابر با ۰/۹ است که مجموع آن‌ها برابر با یک می‌شود. نقطه‌ی تقاطع دو منحنی A و نقیض A دارای درجه‌ی عضویتی برابر در هر دو مجموعه‌ی A و نقیض A است. در این نقطه مبهم‌بودن و فازی‌بودن به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

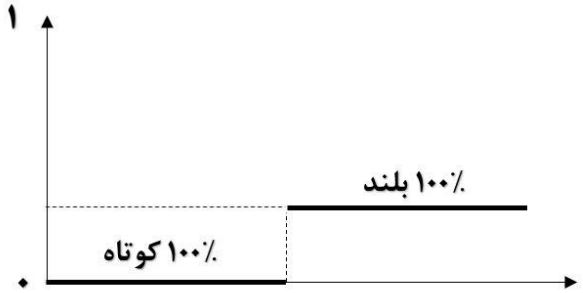
پس از او لطفعلی عسگرزاده در سال ۱۹۶۵، مقاله‌ی مجموعه‌ی فازی را منتشر نمود. اولین مجموعه‌ی فازی که او معرفی کرد، مفهوم بلندی قد انسان را در بر می‌گرفت که با آن منحنی زیر را نشان داد. او این منحنی را منحنی عضویت نامید[۷۴].



نمودار(۱ـ۳) منحنی عضویت

او نشان می‌دهد که چگونه مجموعه‌های فازی، محاسبات لفظی و کلامی را می‌توانند توصیف نمایند. مثلا «خیلی بلند» در منحنی فوق سبب باز شدن منحنی و «کم‌وبیش بلند» موجب جمع‌شدن منحنی می‌شود.

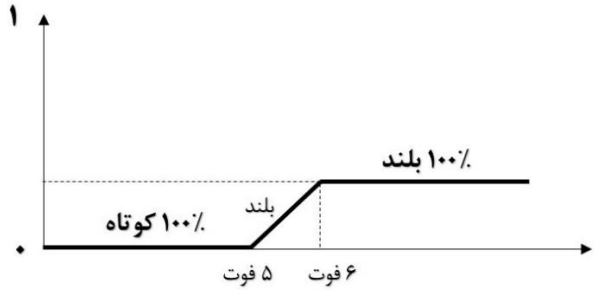
در منطق ارسطویی (دوارزشی) هیچ انسانی نمی‌تواند هم قدبلند باشد و هم نباشد. انسان‌ها «قدبلند» هستند و یا نیستند. در اینجا مثلا در یک ارتفاع معین ۶ فوت (۱۸۰cm) ناگهان از «قدبلندنبودن» به «قدبلندبودن» می‌روید. در واقع توابع، پله‌ای هستند. یکی از ایراداتی که در ابتدا به این منطق وارد شد این بود که این منطق نمی‌تواند کاربردی داشته باشد. اما بعدها، صدها کاربرد از بازی‌های رایانه‌ای گرفته تا سیستم‌های کنترلی و همچنین لوازم خانگی ارزش این منطق را نشان دادند. ایراد دیگر این بود که گفته می‌شد هزاران سال منطق ارسطویی کار کرده است، رایانه‌ها را به‌کار انداخته است. ممکن است قدری هزینه‌بر باشد اما ساده است و کار می‌کند.



نمودار (۲ـ۳) نمودار منطق ارسطویی

پاسخ به منتقدان این بود که منطق چندارزشی می‌تواند منطق دوارزشی را نیز حل کند. می‌توان بعضی از مناطق ۱۰۰ درصد A یا ۱۰۰ درصد نقیض A را حفظ کرد. می‌توان به جای خط قائم شیبی از ۵ فوت به ۶ فوت رسم کرد. هرچه شیب کندتر باشد، منحنی مربوط به آن فازی‌تر خواهد بود.

در شکل زیر در قسمت دارای شیب، A و نقیض A و در خارج از شیب، A یا نقیض A برقرار است[۷۴].

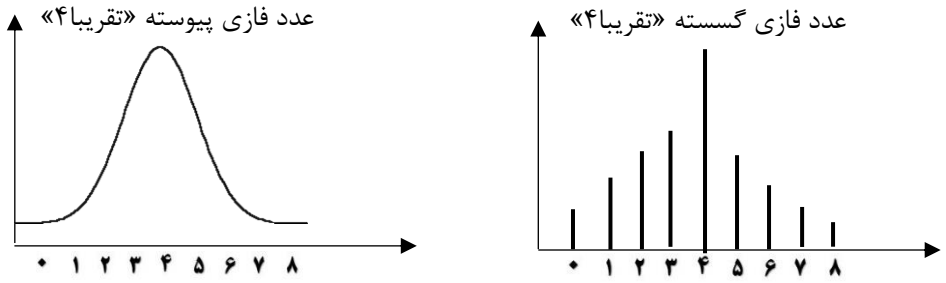


نمودار (۳ـ۳) نمودار منطق فازی

۱ـ۴-۳ اعداد فازی

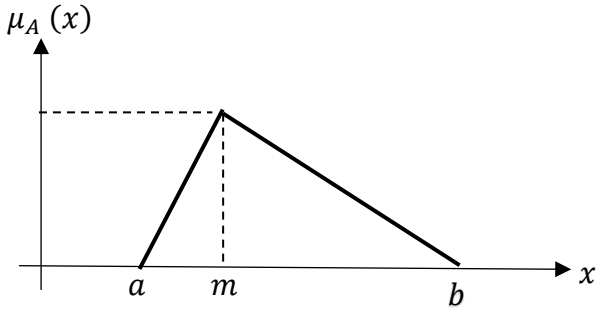
اعداد فازی برای کار با مقادیر کمی مانند تقریبا ۱۰ ، نزدیک به ۷ و ... ایجاد شده‌اند.

طبق تعریف، هر مجموعه‌ی فازی $\bar{M} = \{(x, \mu_{\bar{M}}(x))\}$ که مقادیر x حقیقی باشد و $\mu_{\bar{M}}(x) \in [۰ \text{ و } ۱]$ یک عدد فازی است. بنابراین هر عدد فازی، مجموعه‌ای فازی است و شرط برابری دو عدد فازی، شرط برابر بودن دو مجموعه‌ی فازی است. اعداد فازی می‌توانند گسسته یا پیوسته باشند. اعداد فازی گسسته معمولا به‌صورت مجموعه‌ای نمایش داده شده و اعضای آن‌ها به‌صورت مستقیم بیان می‌گردند. اما اعداد فازی پیوسته با تابع عضویتشان معرفی خواهند شد؛ زیرا بی‌شمار عضو دارند و نمی‌توان آن‌ها را به‌صورت مستقیم بیان کرد[۷۴].



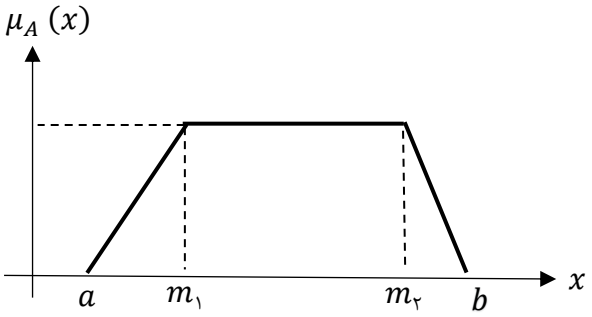
۳ .۴.۱.۱ اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای

هر عدد فازی مثلثی به‌صورت $\tilde{A} = (a, m, b)$ نشان داده می‌شود. نمایش هندسی یک عدد فازی مثلثی به شکل زیر است :



نمودار (۴ـ۳) عدد فازی مثلثی

هر عدد فازی ذوزنقه‌ای را می‌توان به‌صورت $\tilde{A} = (a, m_1, m_2, b)$ نشان داد. نمایش هندسی یک عدد فازی ذوزنقه‌ای به شکل زیر است :



نمودار (۵ـ۳) عدد فازی ذوزنقه‌ای

$\mu_A(x)$: تابع عضویت نام دارد که درجه‌ی عضویت x را بین صفر و یک نشان می‌دهد. در اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای فوق‌الذکر تابع عضویت برابر یک است[۷۴]

۳ـ۵ AHP فازی

در سال ۱۹۸۳، دو محقق هلندی به نام‌های Laarhoren و Padrycz روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی پیشنهاد کردند که براساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بنا شده بود. میزان محاسبات و پیچیدگی مراحل روش آن‌ها باعث شد مورد اقبال قرار نگیرد. در سال ۱۹۹۶ روش دیگری تحت عنوان روش تحلیل توسعه[1] توسط یک محقق چینی به نام چانگ ارائه گردید. اعداد به کار رفته در این روش اعداد مثلثی فازی هستند[۷۵].

۱ـ۵ـ۳ وزن‌دهی گزینه‌ها بر اساس روش تحلیل توسعه‌ی چانگ

چانگ در سال ۱۹۹۲ روشی بسیار ساده را برای بسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به فضای فازی ارائه داد. این روش که مبتنی بر میانگین حسابی نظرات خبرگان و روش بی‌بعدسازی ساعتی و با استفاده از اعداد مثلثی فازی توسعه داده شده بود، مورد استقبال محققین قرار گرفت. مراحل انجام این روش به قرار زیر می‌باشد:

مرحله۱؛ ترسیم درخت سلسله مراتبی: در این مرحله ساختار سلسله‌مراتب تصمیم را باید با استفاده از سطوح هدف، شاخص‌ها و گزینه‌ها ترسیم کرد.

مرحله۲؛ تشکیل ماتریس مقایسات زوجی: با استفاده از نظر تصمیم‌گیرنده، ماتریس مقایسات با بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثیِ $\tilde{A}_{i,j} = (a_{i,j}, m_{i,j}, b_{i,j})$ ، بر اساس نظرات چندین تصمیم‌گیرنده تشکیل گردد.

شدت ارجحیت	ارزش	ارزش فازی	ارزش فازی معکوس
ارجحیت یکسان معیار i و معیار j	۱	(۱,۱,۱)	$(1,1,1)$
ارجحیت خیلی کم معیار i بر معیار j	۲	(۱,۲,۴)	$(\frac{1}{4},\frac{1}{2},1)$
ارجحیت کم معیار i بر معیار j	۳	(۱,۳,۵)	$(\frac{1}{5},\frac{1}{3},1)$
ارجحیت نسبتا کم معیار i بر معیار j	۴	(۲,۴,۶)	$(\frac{1}{6},\frac{1}{4},\frac{1}{2})$
ارجحیت متوسط معیار i بر معیار j	۵	(۳,۵,۷)	$(\frac{1}{7},\frac{1}{5},\frac{1}{3})$
ارجحیت نسبتا زیاد معیار i بر معیار j	۶	(۴,۶,۸)	$(\frac{1}{8},\frac{1}{6},\frac{1}{4})$
ارجحیت زیاد معیار i بر معیار j	۷	(۵,۷,۹)	$(\frac{1}{9},\frac{1}{7},\frac{1}{5})$
ارجحیت خیلی زیاد معیار i بر معیار j	۸	(۶,۸,۱۰)	$(\frac{1}{10},\frac{1}{8},\frac{1}{6})$
ارجحیت بی‌نهایت زیاد معیار i بر معیار j	۹	(۷,۹,۱۱)	$(\frac{1}{11},\frac{1}{9},\frac{1}{7})$

جدول(۶ـ۳) ارزش فازی ارجحیت‌ها

1. Extent Analysis

$$\tilde{A} = \begin{matrix} (۱,۱,۱) & \tilde{A}_{۱۲} & \tilde{A}_{۱n} \\ \tilde{A}_{۲۱} & (۱,۱,۱) & \tilde{A}_{۲n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{A}_{n۱} & \tilde{A}_{n۲} & (۱,۱,۱) \end{matrix}$$

شکل(۶ـ۳) ماتریس نظرات خبرگان

مرحله ۳؛ میانگین حسابی نظرات : میانگین حسابی نظرات تصمیم‌گیرندگان به صورت ماتریس زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{A}_{i,j} = \frac{\sum_{k=۱}^{p_{ij}} A_{ijk}}{p_{ij}} \qquad i,j = ۱,۲,\dots,n$$

p_{ij} : تعداد افراد نظردهنده در مورد اولویت درایه i نسبت به j

مرحله ۴؛ محاسبه‌ی $\tilde{S}_l$

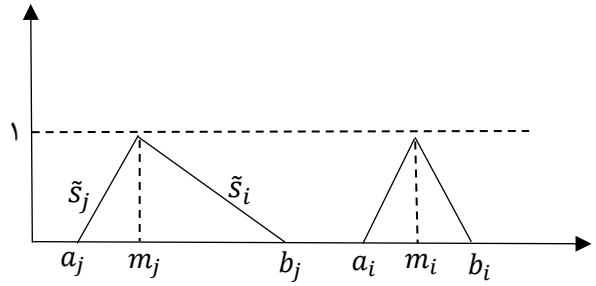
در این‌جا $\tilde{S}_l$ یک عدد فازی فازی می‌باشد که از هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی و به ازای هر گزینه یا شاخص استخراج می‌شود.

$$\tilde{s}_l = \left(\frac{\sum_{j=۱}^{n} a_{l,h}}{\sum_{i=۱}^{n} \sum_{\substack{j=۱ \\ j\neq ۱}}^{n} b_{i,j}}, \frac{\sum_{j=۱}^{n} m_{i,j}}{\sum_{i=۱}^{n} \sum_{\substack{j=۱ \\ j\neq ۱}}^{n} m_{i,j}}, \frac{\sum_{j=۱}^{n} b_{i,j}}{\sum_{i=۱}^{n} \sum_{\substack{j=۱ \\ j\neq ۱}}^{n} a_{i,j}} \right)$$

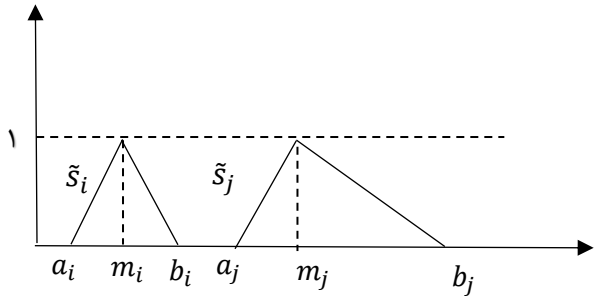
در واقع برای به‌دست‌آوردن این عدد بایستی ابتدا مجموع کل عناصر موجود در ماتریس مقایسات زوجی را محاسبه کرده و سپس مجموع سطری عناصر ماتریس محاسبه شود. در نهایت بایستی مجموع سطری ماتریس مقایسات زوجی بر مجموع کل آن ماتریس تقسیم شود.

مرحله ۵؛ تعیین درجه احتمال بزرگتر بودن؛ در این مرحله بایستی زوج گزینه‌ها تشکیل شوند. در بررسی شدت برتری A_i بر A_j در زوج‌گزینه‌ی (A_i , A_j) که با استفاده از مقادیر $\tilde{S}_i$ و $\tilde{S}_j$ انجام داده و با $V_{i,j}$ نمایش می‌دهیم، ممکن است سه حالت پدید آید :

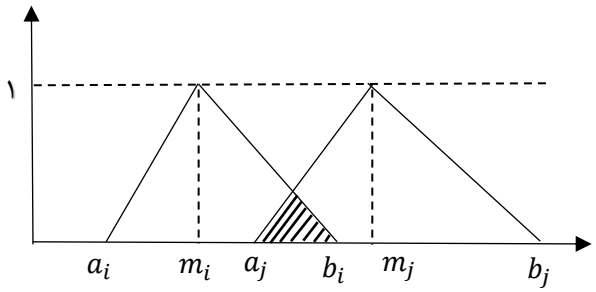
حالت اول؛ حد وسط A_i بزرگ‌تر یا مساوی حد وسط A_j است؛ یعنی $m_i \geq m_j$. در این حالت $\tilde{S}_i$ بر $\tilde{S}_j$ برتری کامل دارد. و $V_{i,j} = ۱$ است.



حالت دوم؛ حد بالای A_i کوچک‌تر یا مساوی حد پایین A_j است؛ یعنی $b_i \leq a_j$. در این حالت $\tilde{S}_i$ بر $\tilde{S}_j$ هیچ‌گونه برتری ندارد. و $V_{i,j} = ۰$ است.



حالت سوم؛ در حالات دیگر برتری جزئی داریم و $V_{i,j} = \frac{a_i - b_j}{(m_i - b_i) - (m_j - b_j)}$ است.



این سه حالت را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

$$\begin{cases} ۱ & \text{اگر } m_i \geq m_j \\ ۰ & \text{اگر } b_i \geq a_j \\ \dfrac{a_i - b_j}{(m_i - b_i) - (m_j - b_j)} & \text{درغیر این صورت} \end{cases}$$

درباره‌ی حالت‌های اول و سوم نباید این چنین تصور کرد که اگر $\tilde{S}_i$ بر $\tilde{S}_j$ برتری کامل داشت، $\tilde{S}_j$ بر $\tilde{S}_i$ هیچ گونه برتری ندارد؛ به عبارتی دیگر ممکن است $\tilde{S}_i$ بر $\tilde{S}_j$ برتری کامل داشته باشد(حالت اول) و $\tilde{S}_j$ نیز بر $\tilde{S}_i$ برتری اندکی داشته باشد(حالت سوم). این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که $\tilde{S}_i \cap \tilde{S}_j \neq \emptyset$ است؛ یعنی مجموعه‌های $\tilde{S}_i$ و $\tilde{S}_j$ اشتراک دارند.

با توجه به شکل حالت سوم که $m_j \geq m_i$ است؛ محاسبه‌ی $V_{j,i}$ از حالت اول تبعیت می‌کند و برابر با یک خواهد بود که نشان‌گر برتری کامل است؛ اما در ناحیه‌ی هاشورزده‌شده، $\tilde{S}_i$ بر $\tilde{S}_j$ برتری دارد و طبق حالت سوم، برتری اندکی خواهد داشت، اما نه برتری کامل. بنابراین حالت‌های اول و سوم می‌توانند با هم وجود داشته باشند.

مرحله۶؛ محاسبه‌ی وزن‌های اولیه : در هر ماتریس مقایسات زوجی، کم‌ترین شدت برتری یک گزینه بر گزینه‌های دیگر وزن اولیه‌ی آن گزینه در آن ماتریس را نشان می‌دهد؛ به عبارت دیگر، حداقل سطری هریک از ماتریس‌های مربوط به V برابر با وزن اولیه‌ی شاخص‌ها یا گزینه‌هاست که عددی قطعی است. همچنین وزن‌های اولیه‌ی به دست آمده از هر ماتریس برابر با یک نیست.

مرحله۷؛ محاسبه‌ی وزن‌های نرمال (W_i) : وزن‌های اولیه را بر مجموعشان تقسیم کنید تا وزن‌های نرمال به‌دست آید. گام‌های فوق را برای ماتریس مقایسات زوجی شاخص ها نیز انجام دهید. این عمل در واقع معادل همان عملیات نرمالایز کردن می‌باشد. در پایان این مرحله، وزن‌های نسبی گزینه‌ها در شاخص‌ها و وزن شاخص‌ها را خواهید داشت.

مرحله‌ی۸؛ ادغام وزن‌ها : برخلاف تکنیک AHP قطعی، در AHP فازی به بررسی نرخ سازگاری نیازی نیست. اما می‌توان ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی را فازی‌زدایی و ناسازگاری آن‌ها را محاسبه کرد. ادامه‌ی مراحل AHP فازی از این به بعد کاملا مشابه AHP قطعی است و به ادغام وزن شاخص‌ها و گزینه‌ها و استخراج وزن‌های نهایی می‌پردازد.

مرحله۹؛ وزن هر شاخص را در وزن‌های به‌دست‌آمده از ماتریس مقایسه‌ی گزینه‌ها در آن شاخص ضرب کنید تا ارزش موزون هر گزینه در هر شاخص مشخص شود.

مرحله‌ی۱۰؛ ارزش(وزن،امتیاز) نهایی هر گزینه برابر است با مجموع ارزش موزون شده‌ی آن گزینه در تمام شاخص‌ها. گزینه‌ها را به ترتیب نزولی این ارزش رتبه‌بندی کنید.

فصل چهارم

مدل تولید ابری

۴ـ۱ مقدمه

فصل پیش‌رو سیستم ساخت و تولید ابری که لازمه‌ی تحقق زنجیره‌ی تامین ابری در راستای هوشمندسازی زنجیره‌ی تامین می‌باشد را در قالب یک مدل ریاضی ارائه می‌کند. در ادامه برای اعتبارسنجی مدل ریاضی، یک نمونه از خط تولید خودرو که در آن سرویس‌دهندگان مختلف، مجموعه‌ای از سرویس‌های ابری را به‌صورت متوالی فراهم می‌آورند، ارائه شده‌است.

۴ـ۲ معرفی مدل

در محیط‌های صنعتی، محصولات مدنظر مشتری دارای ساختار بسیار پیچیده‌ای هستند که در بسیاری از مواقع امکان تولید و یا ارائه‌ی سرویس موردنیاز توسط یک تامین‌کننده ممکن نخواهد بود؛ در چنین مواقعی، می‌توان با انتخاب ترکیبی از تامین‌کنندگان نیاز مشتریان را برطرف نمود. مسئله‌ی ترکیب سرویس‌ها به دنبال گزینش بهینه‌ی یک مجموعه از سرویس‌دهندگان، براساس مراحل ساخت یک محصول و با توجه به سطوح کیفیتیِ سرویس ارائه‌شده توسط سرویس‌دهندگان می‌باشد. در واقع در مسئله‌ی ترکیب سرویس‌ها مشخص می‌گردد که کدام سرویس توسط کدام یک از سرویس‌دهندگان بالقوه‌ی داوطلب اجرا شود.

پس از این که مشتری سفارش خود را از طریق اینترنت در پلت‌فرم تولید ابری ثبت می‌نماید، سفارش تولید، که همان وظیفه‌ی ساخت یک محصول برای سیستم تولید ابری می‌باشد، به مجموعه‌ای از وظایف فرعی[1] مشخصی تجزیه می‌شود که هر یک از این وظایف فرعی توسط مجوعه‌ای از سرویس‌دهندگان مشخص و با کیفیت و زمان و هزینه‌ی مشخص قابل ارائه هستند. در مسئله‌ی ترکیب سرویس‌ها، از میان سرویس‌دهندگان بالقوه و واجد شرایط برای هر یک از وظایف فرعی، سرویس‌دهنده‌ی مطلوب انتخاب خواهد شد. چون مدل‌سازی این مسئله در فضای ساخت و تولید ابری قرار دارد، تمامی عملیات‌های ساخت و حمل‌ونقل در قالب سرویس‌ها در نظر گرفته می‌شوند.

بر خلاف رایانش ابری که در آن تمام سرویس‌ها بر روی نوعی از پلت‌فرم ابری ارائه می‌شود که بر بستر اینترنت قرار دارد و شبکه‌های اینترنتی، اساس و ضرورتی برای تسهیم منابع محاسباتی و انجام سرویس‌دهی‌ها می‌باشند، در تولید ابری در نظر گرفتن سرویس‌های لجستیکی و پیرو آن، حمل‌ونقل منابع فیزیکی هم، لازم به نظر می‌رسد.

1. sub-tasks

به‌هنگام بهره‌مندی از سیستم ساخت و تولید ابری، دو نکته‌ی مهم را باید در نظر داشت؛ ابتدا این که تمامی سرویس‌های مورد نیاز برای انجام یک کار بایستی به دقت پیش‌بینی شوند و در وهله‌ی دوم باید به انتخاب سرویس‌های بهینه از بین سرویس‌های پیشنهادیِ ارائه‌دهندگان پرداخت. مسئله‌ی ترکیب سرویس‌ها از جمله رویکردهای مناسبی است که هر دو ملاحظه‌ی فوق را در نظر خواهد گرفت. می‌توان عملیات در فرآیند ساخت و تولید ابری را به دو دسته تفکیک کرد؛ دسته‌ی اول عملیاتی خواهند بود که تنها توسط یک ارائه‌دهنده‌ی سرویس فراهم می‌شوند(عملیات تک منبعی) و دسته‌ی دوم عملیاتی هستند که توسط چند منبع و با یک توالی خاصی اجرا می‌گردند(عملیات چندمنبعی). انتخاب سرویس بهینه در حالت عملیات تک‌منبعی نسبتا ساده بوده ولی انتخاب بهینه‌ی ترکیبی از سرویس‌های بزرگ ـ مقیاس برای یک عملیات چندمنبعی با چند هدف و محدودیت به مراتب دشوارتر خواهد بود. در ادامه‌ی این فصل مدلی از بهینه‌سازی ترکیب سرویس‌ها در تولید ابری ارائه می‌شود.

۴ـ۳ مدل ریاضی

به منظور مدل سازی ریاضی مسئله‌ی مطرح شده در این فصل، در وهله‌ی نخست مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم ارائه می‌شوند. در مرحله‌ی بعدی تابع هدف و سپس محدودیت‌های مدل شرح داده خواهند شد.

۱ـ۳ـ۴ نمادها و علائم

- **مجموعه‌ها**

S : مجموعه‌ی سرویس‌ها , $k, s \in S$

I_s : مجموعه‌ی ارائه‌دهندگان سرویس s , $i, j \in I_s$

- **پارامترها**

MC_{si} : هزینه‌ی اجرای سرویس s توسط ارائه‌دهنده‌ی i

$Cost_{0i}$: هزینه‌ی حمل‌ونقل سرویس اول

$Cost_{ie}$: هزینه‌ی حمل‌ونقل سرویس پایانی

$Cost_{ij}$: هزینه‌ی حمل‌ونقل بین دو سرویس متوالی

T_{si} : زمان اجرای سرویس s توسط ارائه‌دهنده‌ی i

t : زمان حمل‌ونقل بین دو سرویس‌دهنده به ازای هر کیلومتر

DIS_{0i} : فاصله‌ی جغرافیایی از شروع حمل‌نقل

DIS_{ie} : فاصله‌ی جغرافیایی از پایان حمل‌ونقل

DIS_{ij} : فاصله‌ی جغرافیایی بین دو سرویس‌دهنده‌ی متوالی

R_i : نشان دهنده‌ی کیفیت سرویس‌دهنده‌ی i است. از این پارامتر برای ارزیابی سطح کیفیت سرویس‌های سرویس‌دهندگان استفاده می‌شود.

- **متغیرهای تصمیم**

x_{si} : سرویس S توسط ارائه‌دهنده‌ی i ارائه شود. این متغیر در صورت ارائه‌ی سرویس توسط ارائه‌دهنده‌ی i مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر خواهد گرفت.

d_{0i} : سرویس اول توسط $i \in I_1$ انجام شود.

d_{ie} : سرویس آخر توسط $i \in I_{|s|}$ انجام شود.

d_{ij} : اگر دو سرویس متوالی به ترتیب توسط i و j انجام شود. , $i \in I_s$ و $j \in I_{s+1}$

مدل توسعه‌داده شده‌ی پیش رو یک مدل عددصحیح مختلف تک‌هدفه است که به دنبال کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ی تولید و هزینه‌ی حمل‌ونقل می‌باشد.

- **تابع هدف**

$$\boldsymbol{min}\left(\left(\sum_{s=1}^{|S|}\sum_{i\in I_s}\boldsymbol{MC_{si}X_{si}}\right)+\left(\sum_{i\in I_1}\boldsymbol{Cost_{0i}d_{0i}}+\sum_{i\in I_{|S|}}\boldsymbol{Cost_{ie}\,d_{ie}}+\sum_{i\in I_s}\sum_{j\in I_{s+1}}\boldsymbol{Cost_{ij}\,d_{ij}}\right)\right)$$

محدودیت (۱) : طبق این محدودیت هر سرویس بایستی دقیقا توسط یک سرویس‌دهنده اجرا شود.

$$\sum_{i\in I_s} X_i = 1$$

$$\forall I_s \in S$$

محدودیت (۲) : این محدودیت برای انجام دو سرویس متوالی منظور شده است.

$$X_{si} + X_{(s+1)j} \leq 1 + d_{ij}$$

$$\forall s \in S \qquad \forall i \in I_s \qquad \forall j \in I_s$$

محدودیت (۳) : ضرورت حمل‌ونقل بین مکان تامین‌کننده به سوی محلی که سرویس نخست انجام می‌شود را نشان می‌دهد.

$$X_{si} \leq d_{0i}$$

$$\forall s = 1 \qquad \forall i \in I_1$$

محدودیت (۴) : حمل‌ونقل بین مکان آخرین سرویس با محل مشتری را را نشان می‌دهد.

$$X_{si} \leq d_{ie}$$

$$\forall s = |S| \qquad \forall i \in I_{|S|}$$

محدودیت (۵) : محدودیت زیر نشان‌دهنده‌ی زمان کل فرآیند تولید می‌باشد. در واقع زمان تکمیل یک وظیفه‌ی تولید را محاسبه می‌کند که در بر گیرنده‌ی زمان ساخت و زمان حمل می‌باشد.

$$\sum_{s=1}^{S} \sum_{i \in I_s} T_{si}\, X_{si} + \Big(\sum_{i \in I_1} DIS_{0i}\, t\, d_{0i} + \sum_{i \in I_{|S|}} DIS_{ie}\, t\, d_{ie} + \sum_{i \in I_s} \sum_{j \in I_{s+1}} DIS_{ij}\, t\, d_{ij}\Big) \leq T_{max}$$

محدودیت (۶) : این محدودیت کیفیت محصول را تضمین می‌کند که طبق آن، کیفیت محصول از متوسط نرخ کیفیت سرویس‌های انتخاب شده، محاسبه می‌گردد.

$$\frac{1}{|S|} \sum_{s=1}^{|S|} \sum_{i \in I_s} R_i\, X_{si} \;\geq\; Q_{min}$$

محدودیت (۷) : این محدودیت حد بالای زمان قابل قبول مشتری را نشان می‌دهد.

$$\mathrm{T} \leq T_{max}$$

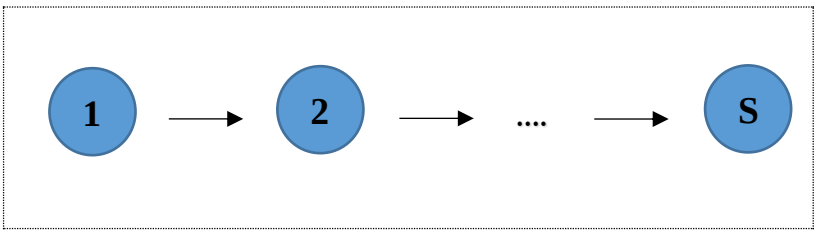
$$X_{ij} = 0{,}1 \qquad d_{ie} = 0{,}1 \qquad d_{oi} = 0{,}1 \qquad d_{ij} = 0$$

۴ـ۴ اعتبارسنجی مدل

همان‌طور که در بخش مقدمه نیز توضیح داده شد، به منظور بررسی اعتبار مدل ریاضی توسعه داده‌شده و همچنین به‌منظور نشان‌دادن ویژگی‌های مدل و اجرایی نمودن آن، یک مدل فرضی از تولید خودرو به عنوان مسئله‌ی نمونه در این بخش ارائه می‌شود. مدل ریاضی فوق‌الذکر توسط یک روش حل دقیق، در نرم‌افزار GAMS، نسخه‌ی 24.1.3 win64 و با CPLEX SOLVER اجرا شده‌است. کلیه‌ی محاسبات نیز در رایانه‌ای با سیستم عامل Windows 10 با پردازش‌گر intel® core™ i7-3520M CPU و RAM : 4.00 GB انجام شده است.

۴ـ۴-۱ مدل تولید خودرو

یک مشتری از طریق اینترنت، سفارش خودور با ملزومات درخواستی را به عنوان یک تکلیف تولیدی در پلت‌فرم ابری ثبت می‌کند. پلت‌فرم ابری در ابتدا این سفارش را به چهارده تکلیف فرعی ساخت و تولید، تجزیه و تفکیک می‌نماید. سپس، وظایف موردنیاز، باتوجه به پارامترهای مطرح شده در مدل، به سرویس‌دهندگان ابری تخصیص خواهد یافت. پلت‌فرم ابری دارای پایگاه داده‌ای بوده که به باتوجه به زمان و هزینه‌ی ارائه‌ی سرویس‌ها، سطح کیفیت و فاصله‌ی سرویس‌دهنده‌ها از هم، ترکیب سرویس‌ها را مدیریت خواهد کرد. سرویس‌ها همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، به شیوه‌ی ترتیبی قابل ارائه خواهند بود. در حالت ترتیبی سرویس‌ها به نوبت ارائه می‌شوند.



۴ـ۴ـ۲ مفروضات مسئله‌ی نمونه

- در مدل ارائه شده برای ساخت خودرو، چهارده سرویس به تفکیک مشخص شده‌اند که از سوی سرویس‌دهندگان ابری، قابل ارائه هستند(S = ۱۴).
- کشور ایران به عنوان یک پلت‌فرم برای تولید ابری در نظر گرفته شده است که در این پلت‌فرم تولیدی، بیست شهر قابلیت ارائه‌ی سرویس‌های ابری را دارا می‌باشند(M = ۲۰). هر شهر حداقل یک و حداکثر دو سرویس را پشتیبانی خواهد نمود.
- جدول تخصیص سرویس‌ها به منابع تولیدی به صورت تصادفی تنظیم شده است (یک ماتریس $S \times M$).
- هر یک از چهارده سرویس موردنیاز برای ساخت خودرو، توسط حداقل دو و حداکثر سه منبع تولیدی قابل انجام می‌باشند.
- سه سرویس ابتدایی در بستر اینترنت قابل ارائه بوده که در نتیجه، هزینه‌ی حمل‌ونقل برایشان صفر منظور می‌گردد.
- فاصله‌ی بین شهرها (که یک ماتریس ۲۰ × ۲۰ می‌باشد) با سرعت ۹۰ کیلومتر در ساعت طی خواهند شد.
- هزینه تولید شامل دو هزینه‌ی ساخت و هزینه‌ی حمل و نقل بوده و زمان تولید نیز شامل دو زمان ساخت و زمان حمل و نقل می‌باشد.
- هزینه‌ی ساخت محصول به صورت تصادفی بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ واحد پولی در نظر گرفته شده است.
- زمان ساخت محصول به صورت تصادفی بین ۱۵۰ تا ۴۰۰ واحد زمانی انجام شده توسط یک منبع، صفر منظور می‌شود.
- برای هر سرویس‌دهنده یک سطح کیفیتی و به‌صورت تصادفی بین ۶۰ تا ۹۸ درصدی در نظر گرفته می‌شود.

جداول زیر به ترتیب سرویس‌های ابری موردنیاز برای تولید خودرو و سرویس‌دهندگان ابری را نشان می‌دهد.

S_i	نام سرویس	S_i	نام سرویس
$Z_۸$	سیستم احتراق	$S_۱$	امکان‌سنجی
$Z_۹$	سیستم ایمنی و ترمز	$S_۲$	طراحی محصول
$Z_{۱۰}$	سیستم برق و روشنایی	$S_۳$	شبیه‌سازی
$Z_{۱۱}$	سیستم تعلیق و فرمان	$S_۴$	ساخت شاسی
$Z_{۱۲}$	سیستم تهویه	$S_۵$	ساخت بدنه
$Z_{۱۳}$	لوازم جانبی	$S_۶$	رنگ آمیزی
$Z_{۱۴}$	آزمایش و کنترل کیفیت	$S_۷$	ساخت موتور

جدول(۱ـ۴) سرویس‌های مورد نیاز

Z_i	نام شهر	Z_i	نام شهر
$Z_{۱۱}$	ساری	$Z_۱$	اراک
$Z_{۱۲}$	سمنان	$Z_۲$	ارومیه
$Z_{۱۳}$	شیراز	$Z_۳$	اصفهان
$Z_{۱۴}$	کرمان	$Z_۴$	اهواز
$Z_{۱۵}$	کرج	$Z_۵$	بجنورد
$Z_{۱۶}$	گرگان	$Z_۶$	بوشهر
$Z_{۱۷}$	مشهد	$Z_۷$	بیرجند
$Z_{۱۸}$	همدان	$Z_۸$	تبریز
$Z_{۱۹}$	یاسوج	$Z_۹$	تهران
$Z_{۲۰}$	یزد	$Z_{۱۰}$	زاهدان

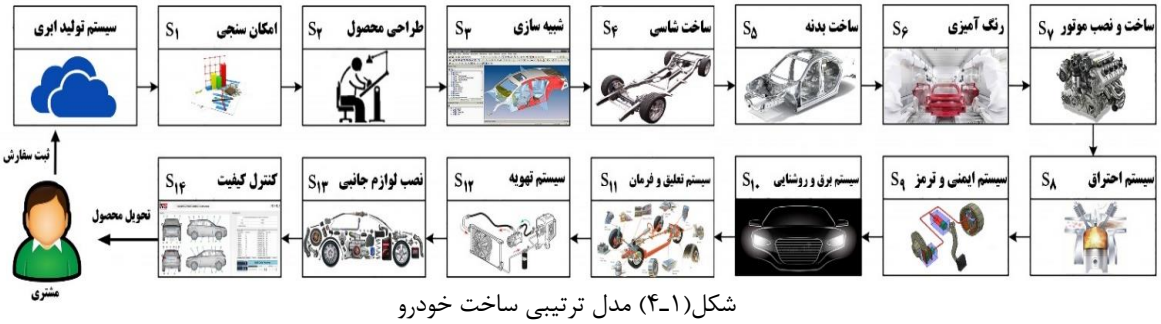
جدول(۲ـ۴) سرویس‌دهندگان بالقوه

در جدول (۳ـ۴) سرویس‌های موردنیاز تولید در سطر و سرویس دهندگان در ستون قابل رویت هستند و سرویس‌هایی که هر سرویس‌دهنده ارائه می‌کند، مشخص شده‌اند.

هزینه	$S_{۱}$	$S_{۲}$	$S_{۳}$	$S_{۴}$	$S_{۵}$	$S_{۶}$	$S_{۷}$	$S_{۸}$	$S_{۹}$	$S_{۱۰}$	$S_{۱۱}$	$S_{۱۲}$	$S_{۱۳}$	$S_{۱۴}$
$Z_{۱}$													❊	❊
$Z_{۲}$	❊		❊											
$Z_{۳}$							❊		❊					
$Z_{۴}$		❊									❊			
$Z_{۵}$	❊	❊												
$Z_{۶}$				❊		❊								
$Z_{۷}$					❊									
$Z_{۸}$											❊	❊		
$Z_{۹}$							❊	❊						
$Z_{۱۰}$								❊	❊					
$Z_{۱۱}$				❊			❊							
$Z_{۱۲}$										❊	❊			
$Z_{۱۳}$										❊				❊
$Z_{۱۴}$									❊	❊				
$Z_{۱۵}$	❊											❊		
$Z_{۱۶}$					❊	❊								
$Z_{۱۷}$													❊	❊
$Z_{۱۸}$								❊				❊		
$Z_{۱۹}$		❊	❊											
$Z_{۲۰}$				❊	❊									

جدول(۳ـ۴) تخصیص بالقوه‌ی سرویس‌ها به سرویس‌دهندگان

شکل زیر مدل ترتیبی برای ساخت خودور در سیستم تولید ابری را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهد می‌شود در مسئله‌ی نمونه‌ی ارائه‌شده چهارده سرویس موردنیاز برای تولید و تحویل محصول به شکل ترتیبی قابل‌اجرا خواهند بود.



شکل(۱ـ۴) مدل ترتیبی ساخت خودرو

۵ـ۴ حل مدل و جواب مسئله

با واردنمودن داده‌های موجود در نرم‌افزار GAMS و با در نظر گرفتن داده‌های عددی و مفروضات مدل تولید ابری خودرو و همچنین درنظرداشتن بهینه‌شدن تابع هدفی که تک‌هدفه بوده و به دنبال کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ی تولید و هزینه حمل‌ونقل است، برنامه را اجرا کردیم. مدت زمان اجرای حل، ۰/۱۲۵ ثانیه است و میزان تابع هدف $z = ۴۹۱۳/۶۱۷$ واحد پولی می‌باشد.

پس از حل مدل جواب بهینه‌ی به‌دست‌آمده به‌صورت جانمایی تخصیص سرویس‌ها، در شکل۲ـ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است که سرویس‌های ۱، ۲ و ۳ که در بستر اینترنت قابل ارائه بودند، هزینه‌ی حمل‌ونقلی برایشان در نظر گرفته نشده و وجود فِلش‌ها برای این سرویس صرفا به جهت تکمیل توالی شکل است و هم‌چنین دو سرویس متوالی که توسط یک سرویس‌دهنده ارائه می‌شوند نیز هزینه‌ی حمل‌ونقل برایشان منظور نخواهد شد.

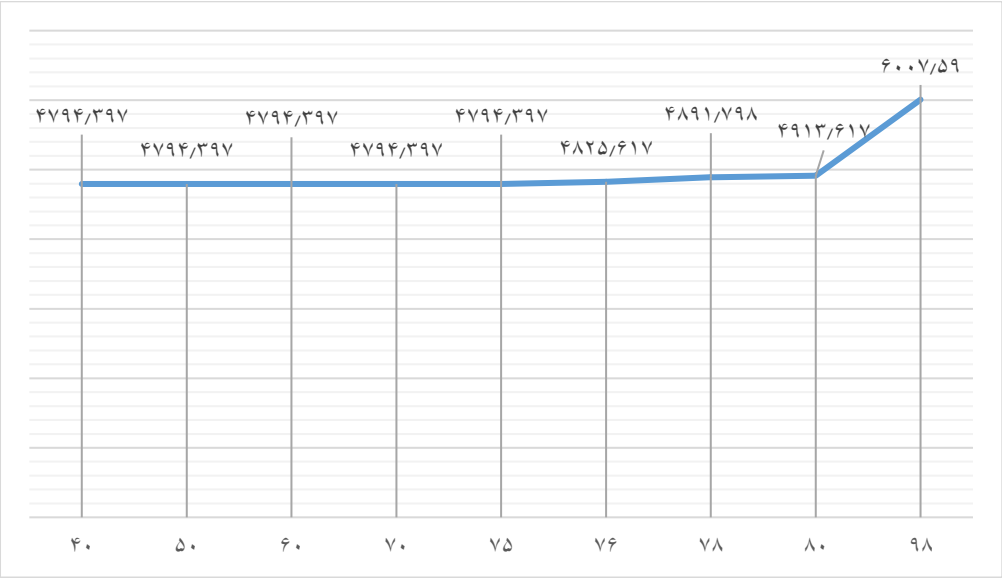
شکل (۲ـ۴) جانمایی سرویس‌ها

این نقاط نشان‌دهنده‌ی نقاط بهینه‌ی تصمیم‌گیرنده می‌باشد که پس از حل مدل ریاضی توسعه داده‌شده توسط تصمیم‌گیرنده، حاصل شده‌اند. همان‌طور که در فضای تولید متصور شده در شکل ۲ـ۴ مشخص است، از میان بیست سرویس‌دهنده‌ی ابری بالقوه، تنها نه سرویس‌دهنده در ساخت و تولید خودرو مشارکت خواهند نمود؛ چراکه شرایط بهینگی تابع هدف و همچنین سطوح کیفیتی و زمان کل فرآیند تولید را را دارا هستند.

۶ـ۴ تحلیل حساسیت

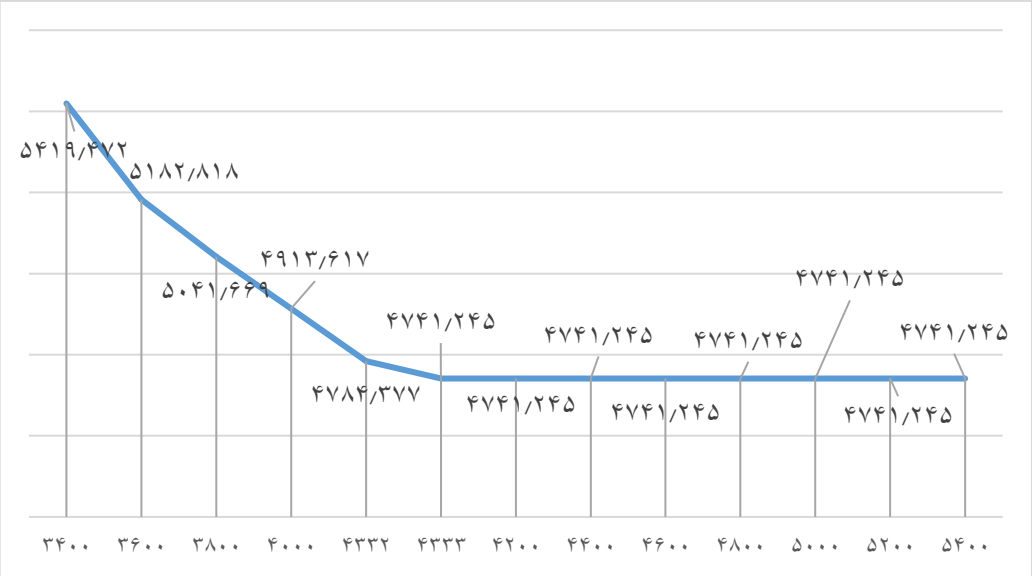
به‌منظور ارزیابی مدل در شرایط مختلف تحلیل حساسیت به وسیله‌ی تغییر در پارامترها صورت پذیرفته است. سطوح کیفیتی ارائه‌شده از سوی سرویس‌دهندگان و همچنین زمان کل در فرآیند تولید محصول، هزینه‌های تولید را تحت‌الشعاع قرار خواهند داد. پس با اعمال تغییرات در مقادیر این دو مورد، روند تغییرات در مقادیر تابع هدف مسئله مشخص می‌شوند.

همان‌طور که در نمودار ۱ـ۴ مشخص است، در بازه‌ی سطح کیفیتی از ۴۰ تا ۷۵ تابع هدف در مقدار ۴۷۹۴/۳۹۷ ثابت است و نمودار یک روند ثابت با شیب صفر را نشان می‌دهد اما از مقدار ۷۶ به بعد نمودار شیب صعودی به خود گرفته و مقدار تابع هدف افزایش پیدا می‌کند.



نمودار(۱ـ۴) تغییرات مقدار تابع هدف نسبت سطوح مختلف کیفیت

محدودیت شماره (۵) در مدل، حداکثر مقدار زمانی برای کل فرآیند تولید محصول را در نظر می‌گیرد. از این رو با اعمال تغییرات در این مقدار، رفتار مدل مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که نمودار ۲ـ۴ نشان می‌دهد با افزایش زمان کل فرآیند تولید، نمودار یک شکل نزولی به خود می‌گیرد و کاهش در مقدار تابع هدف را نشان می‌دهد. این شیب نزولی تا مقدار زمانی ۴۳۳۲ ادامه خواهد یافت ولی با عبور از این مقدار، رفتار نمودار تغییر کرده و به شیب صفر می‌رسد که ثبات در مقدار تابع هدف یعنی مقدار ۴۷۴۱/۲۴۵را نشان می‌دهد.



نمودار (۲ـ۴) تغییرات مقدار تابع هدف نسبت به تغییرات حداکثر زمان تولید

۴ـ۷ نتیجه

سیستم تولید ابری با استفاده تجمیع منابع فیزیکی و غیرفیزیکی سرویس‌دهندگان مختلفی که حتی می‌توانند در نقاط جغرافیایی متفاوتی هم باشند به ساخت و ارائه‌ی محصول مبادرت می‌ورزد. سیستم تولید ابری نمونه‌ای از تولید سرویس‌گرا و شبکه‌ایِ مبتنی بر هم‌کاری می‌باشد که قادر خواهد بود با اختلال در طول زنجیره‌ی تامین مقابه نماید. زیرا منابع بالقوه‌ی چند سرویس‌دهنده را در اختیار دارند و به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید اقدام می‌کنند، بی‌آن‌که نگران کمبود موجودی یا سرویسی باشند. در پلت‌فرم ابری سرویس‌دهنده‌ای که قادر به ارائه‌ی یک سرویس مشخص نباشد از لیست سرویس‌دهندگان بالقوه برای آن سرویس مشخص حذف خواهد شد. نکته‌ی بسیار مهم در این سیستم نحوه‌ی ترکیب سرویس‌ها می‌باشد که بایستی سرویس‌های به‌شکلی با هم ترکیب شوند تا زمان و هزینه‌ی تولید و تحویل محصول بهینه‌گردد که بدین‌منظور در فصل حاضر یک مدل بهینه‌سازی ریاضی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ی تولید و هزینه‌ی حمل‌ونقل توسعه داده‌شد.

فصل پنجم

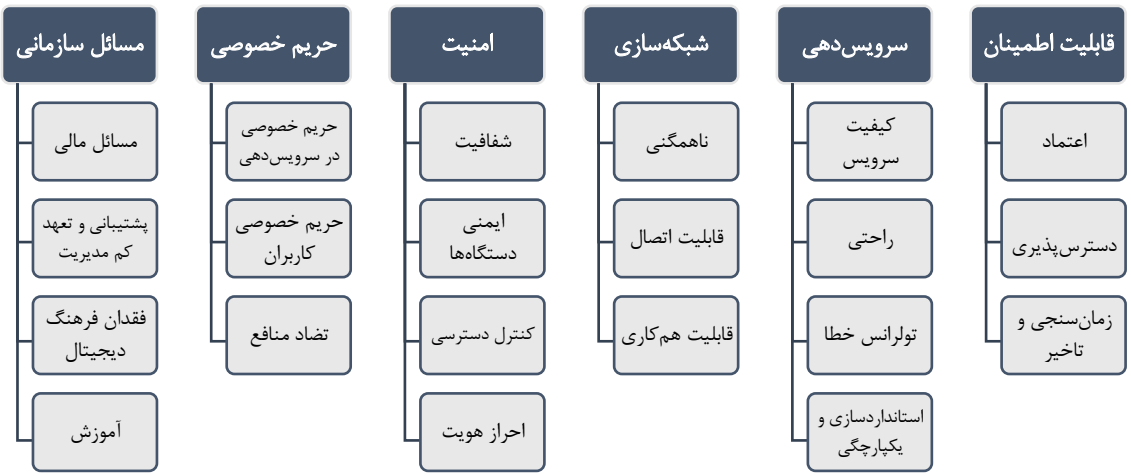
تحلیل چالش‌های IIoT

۵ـ۱ مقدمه

استفاده از اینترنت اشیا در صنعت و در زنجیره‌ی تامین، جدا از مزایای بیان‌شده در فصول گذشته و نقش مهمی که در بهبود بهره‌وری یک زنجیره ایفا می‌کند، با چالش‌ها و دغدغه‌هایی نیز همراه است. با مطالعه‌ی مقالات و آثار پژوهش‌گران مختلف در حوزه‌ی IoT و به خصوص بهره‌بردن از این فناوری در زنجیره‌ی تامین مهم‌ترین چالش‌ها و دغدغه‌های این نوآوری شناسایی و دسته‌بندی شده‌اند. در فصل پیش رو ضمن ارائه‌ی این دسته‌بندی، وزن و میزان اهمیت این چالش‌ها با استفاده از روش AHP فازی استخراج می‌گردد.

۵ـ۲ چالش‌های استفاده از IIoT

بهره‌بردن از اینترنت اشیا در صنعت علاوه‌بر مزایای ذکر شده در دو فصل گذشته مانند افزایش سرعت عمل در صنعت، کاهش هزینه‌ها، راحتی کار، هوشمندسازی همه یا بخشی از محیط سازمانی با مسائل و چالش‌هایی نیز همراه می‌باشد که با مراجعه به ادبیات IoT و مقالات منتشر شده در زمینه‌ی استفاده از آن در صنعت و تولید و زنجیره‌ی ایجاد ارزش مهم‌ترین مسائل و دغدغه‌ها در این حوزه شناسایی و دسته‌بندی شدند که مشروح این طبقه‌بندی در ادامه آورده شده است. لازم به‌ذکر است که دسته‌بندی ارائه‌شده محقق ساخته می‌باشد.



شکل(۱ـ۵) دسته‌بندی چالش‌های IIoT

۱ـ۲ـ۵ قابلیت اطمینان

۱ـ۱ـ۲ـ۵ اعتماد: اطمینان پیدا کردن از وجود اعتماد به IoT از اهمیت زیادی برخوردار است و توانایی افراد را برای اتصال، ارتباط و اشتراک‌گذاری تحت تاثیر قرار می‌دهد. اگر تلاش برای ایجاد اعتماد در IoT ناکام بماند، توسعه‌ی سریع IoT امکان‌پذیر نخواهد بود [۴۶]. هنگامی که بین اشیای هوشمند یک اتصال رخ می‌دهد، حفاظت از پیام‌های IoT در عناصر هوشمند به نوعی نشان دهنده‌ی میزان اعتماد در شرکت‌ها است[۴۷]. دستگاه‌های به هم متصل و کاربران سیستم باید اطمینان داشته باشند که می‌توان به اطلاعات و خدمات قابل مبادله ، تکیه کرده و از آن استفاده نمود.

۲ـ۱ـ۲ـ۵ دسترس‌پذیری : در اتوماسیون صنعتی، زیان‌های تولیدی برآمده از توقف‌های برنامه‌ریزی نشده‌ی ناشی از به عنوان مثال، خرابی یا خسارت یک جزء، غیرقابل قبول است. یک روش معمول برای جلوگیری از این توقف‌های ناخواسته و شکست‌های احتمالی، نظارت مستمر دستگاه‌ها و خدمات در صورت تغییر شرایط و همچنین اطلاع‌رسانی سیستم می‌باشد. در این زمینه، ارتباط صنعتی نقش مهمی در اندازه‌گیری و کنترل صنعتی و به ویژه در اتوماسیون فرآیند به دلیل روند تمرکززدایی دستگاه‌ها و سیستم‌های کنترلی و همچنین لایه‌های مختلف ارتباطاتی، یعنی بین دستگاه‌ها و کنترل‌کننده‌ها، بین کنترل‌کننده‌ها و ایستگاه‌های عملیات، و بین ایستگاه‌های اپراتور و خدمات مدیریت سازمانی ایفا می‌کند. بنابراین، چالش در حفظ قابلیت اطمینان و در دسترس بودن نتیجه‌ی تضمین سطحی از کیفیت در تمام ارتباطات به هنگام ارائه‌ی داده‌ها و خدمات می‌باشد[۴۸].

۳ـ۱ـ۲ـ۵ زمان‌سنجی و تاخیر : سیستم‌های کنترل صنعتی سیستم‌های به موقعی هستند که الزامات سفت و سختی در رفتار، دقت و پاسخ زمانی دارا می‌باشند. تأخیر و ناپایداری در زمانی که یک عملیات طول می‌کشد تا انجام شود، ، نگرانی مهمی به حساب می‌آید. یک مثال دقیق، سیستم کنترل برای روبات‌های صنعتی در زمینه‌ی جوش‌کاری می‌باشد؛ جایی که در آن سنسورها نیاز به تشخیص موقعیت و جهت درز و شکاف دارند، سیگنال سنسورها باید سریعا پردازش شده تا کنترل‌کننده‌ی روباتی بتواند مسیر حرکت جوش‌کاری را در لحظه، تغییر دهد. با صدها هزار سنسور، محرک و کنترل‌کننده‌های قابل برنامه‌ریزی که متصل هستند، انتقال و تجزیه‌وتحلیل قطعی و قابل اطمینان داده‌ها در زمان واقعی دارای اهمیت می‌باشد. برای اپلیکیشن‌های اتوماسیون صنعتی در یک محیط حساس به تاخیر، نحوه‌ی توزیع بلادرنگ سرویس‌ها در شبکه، تحت تاثیر چند پارامتر مانند کارایی بهینه، دسترسی پهنای باند، محل داده‌ها و سربار قرار گرفته است. به خاطر محدودیت‌های کیفیت مورد نیاز در اپلیکیشن‌های

کنترلی صنعت با توجه به، مثلا، به موقع بودن و قابلیت اطمینان، یک چالش این است که چگونه به‌صورت پویا داده‌ها و سرویس‌ها را در سطوح مختلفی از شبکه بر روی ابر، جهت دستیابی به عملکردی بهینه مستقر سازیم[۴۸].

۲ـ۲-۵ سرویس‌دهی

۱ـ۲ـ۲ـ۵ کیفیت سرویس : در عصر حاضر، انتظارات مشتری دائما در حال افزایش است. برآوردن نیازها ، انتظارات و ترجیحات مشتری، تنها راه برای اطمینان از وفاداری آن‌ها و بقا و رشد هر سازمان است. IoT یک پلت‌فرم عالی برای انجام این کار را فراهم می‌آورد. با این حال، چالش‌های زیادی برای مواجهه وجود دارد. در میان آن‌ها، انتخاب تکنولوژی مناسب برای ایجاد تجربیات ترجیحی، طراحی فرآیند بازخورد مناسب مشتری و درک نیازها و انتظارات مشتری و دانستن اینکه چگونگی مواجهه با آن‌ها می‌تواند ذکر شود[۴۹].

۲ـ۲ـ۲ـ۵ راحتی : راحتی IoT به این معنی است که کارکنان می‌توانند با استفاده از محصولات یا دستگاه‌های IoT در خلال فرآیند کاری‌اشان زمان و انرژی را صرفه جویی کنند[۵۰]. به عبارت دیگر، این بدان معنی است که شرکت یک فضای کاری را فراهم می‌کند که توسط دستگاه‌های مرتبط با IoT احاطه شده است تا حجم کار بر روی پرسنل را کاهش دهد. شرکت‌ها انتظار دارند که زنجیره‌های تامین‌اشان را می‌توانند انعطاف‌پذیرتر ساخته و سر وقت به سفارشات برای هر معامله پاسخ داده تا زمان تاخیر را به حداقل برسانند و هزینه‌های عملیاتی به همان اندازه که می‌توانند،کاهش یابند[۳۷].

۳ـ۲ـ۲ـ۵ تولرانس خطا : در نظر گرفتن این که در IoT صنعتی هزاران دستگاه ناهمگن صنعتی وجود دارد که متصل بوده و اطلاعات را مبادله می‌کنند، مسئله‌ی دارای اهمیتی می‌باشد جهت اطمینان یافتن از محدودیت‌های صنعتی درمورد قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان، در نظر داشتن نحوه‌ی طراحی سیستم‌هایی که در برابر خطا مقاوم باشند مهم است تا سیستم با وقایع پیش‌بینی‌نشده مانند شکست سرویس‌ها، حملات بداندیشانه، یا تغییرات در کیفیت سرویس‌های خاص، و همچنین خطاهایی که هنگام ارائه‌ی سرویس در زمان واقعی، به زیرساخت‌های اینترنت و تکنولوژی‌های نرم‌افزاری ابری مربوط می‌شوند، انطباق پیدا کند.

۴ـ۲ـ۲ـ۵ استانداردسازی و یکپارچگی : برای جلوگیری از هرج و مرج در جهان IoT، استانداردسازی اپلیکیشن‌ها ضروری است. استانداردسازی، فرآیندی است که بتوان رابط‌های عملیاتی را برای هر کاربر با هر دستگاه IoT یکپارچه ساخت.

فقدان رویکردی استاندارد برای مدیریت داده‌ها هنوز هم یکی از نگرانی‌ها در شرکت‌های بزرگ است. داده‌های اضافی در بخش‌های مختلف شرکت، در فرمت‌های مختلف با توسعه یا غنی‌سازی جزئی، ذخیره می‌شوند. چنین انبار داده‌ای، میزان انباشت داده‌ها، عدم تطابق و تفسیر متفاوت از داده‌ها را افزایش می‌دهد. تصمیم‌گیری براساس داده‌های متناقض منجر به تصمیمات نادرست می‌گردد[۵۱]. تمام لایه‌های زیرساخت اینترنت اشیا باید در موسسه‌های استاندارد بررسی شوند. مسائلی ازجمله قابلیت‌ها و رابط‌های دستگاه‌های اینترنت اشیا، فرمت داده‌ها و کدهای اطلاعاتی، نام‌گذاری، آدرس‌دهی و مسائل شناسایی و تشخیص و ... . استانداردسازی اینترنت اشیا به دو بخش تقسیم می‌شود؛ از یک طرف استانداردهایی که بایستی توسط دولت‌ها وضع شود که ریشه در گرایش فرهنگی و مذهبی و وضعیت زیرساخت‌های مختلف دارد و از سوی دیگر استانداردهایی که فنی بوده بوده و هر شخص یا سازمانی قادر به تهیه‌ی پیش‌نویس و ارائه‌ی آن می‌باشد[۶۶].

۳ـ۲ـ۵ شبکه سازی

۱ـ۳ـ۲ـ۵ ناهمگنی : اپلیکیشن‌ها و محیط‌های مختلف، به فناوری‌های شبکه‌سازی متمایزی نیاز دارند و طیف وسیعی از فناوری‌ها، به شکل قابل توجهی متفاوت از یکدیگر عمل می‌کنند[۵۲]. این چالش، توانایی کاربر IoT برای اتصال و اشتراک‌گذاری، که جهت توسعه‌ی IoT اساسی است را به خطر می‌اندازد[۵۳]. در نظر گرفتن این که در IoT صنعتی تعداد زیادی دستگاه ناهمگن صنعتی وجود دارد که متصل بوده و اطلاعات را مبادله می‌کنند، مسئله‌ی دارای اهمیتی می‌باشد. در واقع شبکه‌سازی بین این موارد ناهمگن و برقراری ارتباط میان آن‌ها چالشی مهم است.

۲ـ۳ـ۲ـ۵ قابلیت اتصال : زیرساخت‌های پیشرفته، امکانات و فناوری‌های مبتنی بر فناوری اطلاعات در پذیرش موثر مفاهیم صنعت ۴/۰ بسیار مهم هستند. قابلیت اتصال ضعیف به اینترنت یک مانع الزام‌آور برای طرح‌های صنعت ۴/۰ و IIoT است[۳۷].

۳ـ۳ـ۲ـ۵ قابلیت هم‌کاری : انواع وسیعی از دستگاه‌ها، برنامه‌ها و پیاده‌سازی‌ها در IoT صنعتی، منجر به مجموعه‌ای گسترده از داده‌ها با تنوع در شکل و تفسیر داده، کیفیت، فرکانس و زمان‌بندی خواهد شد. بنابراین قابلیت همکاری یک جنبه‌ی مهمی است که باید در راه‌کارهای IoT مورد توجه قرار گیرد تا دستگاه‌ها و سیستم‌های گوناگون بتوانند اطلاعات را به اشتراک گذاشته و با یکدیگر ارتباط برقرار نمایند[۴۸].

۴ـ۲ـ۵ امنیت

۱ـ۴ـ۲ـ۵ شفافیت : تعداد زیادی از دستگاه‌های IoT از دور کار می‌کنند که کاربر آگاهی کمی داشته یا هیچ آگاهی نسبت به عملیاتشان ندارد. این امر منجر به آسیب‌پذیری امنیتی می‌شود چرا که یک دستگاه IoT ممکن است عملکرد نامطلوبی را اجرا کند یا داده‌هایی را که کاربر تمایلی ندارد جمع‌آوری نماید[۵۳].

۲ـ۴ـ۲ـ۵ ایمنی دستگاه‌ها : بسیاری از دستگاه‌های IoT با رعایت امنیت در نظر گرفته نشده‌اند. طبق گفته SANS، تنها ۵۲ درصد از دستگاه‌های IoT قبل از تولید، آزمایش‌های امنیتی می‌شوند[۴۹]. ایمنی کارکردی دستگاه‌ها برای امنیت کلی یک سیستم که به اجرای صحیح دستورات و عملکرد خاص بر می‌گردد، حیاتی می‌باشد. صنعت نفت و گاز، نیروگاه هسته‌ای و ... همه بر ایمنی کارکردی تاکید دارند که باعث کاهش خطرات لازم جهت دستیابی به ایمنی برای تجهیزات می‌گردد[۴۸]. توسعه و استفاده از مکانیزم‌های امنیتی در IoT نباید عمدتا قابلیت‌های کارکردی دستگاه‌های IoT را محدود نماید[۵۴].

۳ـ۴ـ۲ـ۵ کنترل دسترسی : کنترل دسترسی، فرآیند کنترلی و مدیریتی است که با توجه به سیاست‌های امنیتی تنظیم گردیده و فقط به موجودیت‌های دارای هویت و مجاز (مانند کاربران ، پردازش‌ها و یا سیستم‌های مشخص) مطابق با سیاست‌ها، اجازه‌ی دسترسی یا سطوح مشخصی را می‌دهد[۶۳]. این مسئله در زمینه‌ی کسب‌وکار اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، زیرا اطلاعات یک دارایی محسوب می‌شود که نیاز به محافظت دارد و تا رقابت و ارزش بازار حفظ شود. در اینترنت اشیا نه تنها کاربران بلکه اشیای مجاز هم ممکن است به داده‌ها دسترسی داشته باشند[۶۶]. دستگاه‌های IoT مقدار زیادی داده و اطلاعات را جمع‌آوری، پردازش و ذخیره‌سازی می‌کنند. برای اطمینان از امنیت داده‌ها، سرویس‌ها و کل سیستم IoT، محرمانه‌بودن داده‌های جمع‌آوری‌شده باید تضمین شود[۲۲].

۴ـ۴ـ۲ـ۵ احراز هویت : احراز هویت یک روند پردازش پروتکل ارتباطی است. در IoT، بایستی ارتباط امن بین یک «چیز» و «چیز» دیگر با چنین روندی ایجاد گردد. «چیزها» یا اشیا در محیط اینترنتی تبدیل به گره‌های پایانی برای ارتباط می‌شوند. هویتی که «چیز» یا «شی» دوم ادعا دارد باید با آنچه که «چیز» اول ادعا می‌کند، سازگار باشد. اطلاعات هویتی که ادعا می‌شود، یک پیام واحد می‌آورد. بر اساس این پیام، هویت "چیزها" بررسی می‌شود. هدف برای هر دو شریک ارتباطی (مثلا دو شی یا دو دستگاه که از طریق اینترنت مرتبط می‌شوند) جهت پیاده‌سازی پروتکل احراز هویت، برقراری ارتباطی مستحکم می‌باشد[۵۵]. احراز

هویت برای اپراتورها و کارکنان انسانی سازمان‌ها نیز قابل اعمال است؛ اثر انگشت، اسکن چهره، صدا، از جمله ویژگی‌های منحصر به فرد بیومتریک بخش‌های بدن انسان است که یک فرد را شناسایی می‌شود. احراز هویت بیومتریک شامل تأیید یا رد هویت ادعایی فرد براساس ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتاری وی می‌باشد [۵۶].

۵ـ۲ـ۵ حریم خصوصی

۱ـ۵ـ۲ـ۵ حریم خصوصی در دسترسی : اپلیکیشن‌ها و سرویس‌های گسترده و بزرگ ـ مقیاس مبتنی بر IoT، در مقابل اختلال ناشی از حملات و سرقت اطلاعات، به شکل فزاینده‌ای آسیب‌پذیر هستند. چرا که داشتن دستگاه‌ها، سیستم‌ها و فناوری‌های متصل، منجربه وجود نقاط ورودی غیرمتمرکز بیشتری برای پیدایش اختلالات امنیتی می‌شود[۴۸]. در واقع یعنی گره‌های بیشتری در سیستم، برای آسیب‌پذیر بودن وجود خواهد داشت. منظور از گره، در شبکه‌ی IIoT هر چیزی است که قابلیت ارائه‌ی هویت دیجیتال از خود بوده و قابلیت اتصال را دارا باشد.

۲ـ۵ـ۲ـ۵ حریم خصوصی کاربران : یک ملاحظه‌ای در طراحی بوده که از دید کاربران و مشتریان بسیار مطلوب می‌باشد[۴۷]. دستگاه‌های IoT داده‌های عظیمی از عادت‌های روزمره و تاریخچه‌ی عملیاتی ما را جمع‌آوری می‌کنند. این معمولا با خطرات بالقوه برای حفظ حریم شخصی و تجاری ما همراه است[۵۷].

۳ـ۵ـ۲ـ۵ تضاد منافع : بسیاری از دستگاه‌های IoT در موقعیت‌هایی اجرا می‌شوند که در آن چندین نفر در معرض فعالیت یکسانِ جمع‌آوری داده‌ها هستند. سیستم‌های ردیابی مکان و دوربین‌های نظارتی دو نمونه از چنین موقعیت‌هایی می‌باشند. در چنین شرایطی ممکن است تمایز دادن ترجیحات حریم خصوصی فرد سخت و یا حتی غیرممکن باشد[۵۳]. تضاد منافع تنها در میان کاربران رخ نمی‌دهد. انتظارات، خواسته‌ها و ترجیحات مختلف در میان تولیدکنندگان و کاربران، دولت و شهروندان (به عنوان مثال دوربین‌های نظارت) یا دولت و تولیدکنندگان ممکن است منجر به طیف گسترده‌ای از درگیری‌ها شود[۴۹].

۶ـ۲ـ۵ مسائل سازمانی

۱ـ۶ـ۲ـ۵ مسائل مالی : محدودیت‌های مالی به عنوان یک چالش بسیار مهم برای توسعه‌ی توانمندی سازمان‌های تجاری، مخصوصا شرکت‌های کوچک از نظر تجهیزات پیشرفته و

ماشین‌آلات، امکانات و نوآوری‌های پایدار فرآیند به حساب می‌آیند[۳۷]. سرمایه‌گذاری اولیه، مبنایی برای هوشمندسازی زنجیره‌ی تامین سازمان‌ها محسوب می‌شود و خرید فناوری نیازمند هزینه‌هایی می‌باشد که گاهی مدیریت سازمان‌ها را به وحشت می‌اندازد.

۵ـ۲ـ۶ـ۲ پشتیبانی و تعهد کم مدیریت : به منظور ایجاد یک مفهوم موثر از صنعت هوشمند ، حمایت و تعهد مدیریت جهت قبول تغییرات، بسیار مهم است. سازمان‌ها باید برای توسعه‌ی کسب و کار پایدار IIoT محور، بر بهبود قابلیت‌های خود از نظر آموزش و توسعه کارکنان و برنامه‌های مدیریت دانش، تمرکز کنند. این مهم بدون پشتیبانی و تعهد مدیریت امکان‌پذیر نیست[۳۷].

۵ـ۲ـ۶ـ۳ فقدان فرهنگ دیجیتال : دیجیتالی کردن از الزامات اصلی برای شروع صنعت هوشمند در محیط کسب و کار است. علاوه بر این، صنعت IIoT به‌طور کلی دارای طبیعت بین رشته‌ای بوده که نیاز به دیجیتالی‌سازی دارد تا عناصر مختلف شبکه را متصل نماید[۳۷].

۵ـ۲ـ۶ـ۴ آموزش : امکان ایجاد بیشترین پتانسیل از IoT ، بدون آموزش و پرورش مناسب وجود ندارد. همان‌طور که دولت‌ها و سازمان‌ها باید به‌درستی و به‌طور موثر استفاده از پلت فرم IoT را یاد بگیرند، افراد و کارکنان نیز باید دانش و مهارت استفاده از ویژگی‌های آن را به‌صورت مناسب کسب کنند[۶۶].

۳ـ۵ ارزیابی چالش‌ها

پس از پایان مرحله‌ی شناسایی و دسته‌بندی چالش‌هایی که پیش‌روی IIoT است، نیاز بود تا این چالش‌ها و دغدغه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند و درجه‌ی اهمیت آن‌ها مشخص گردد. بدین‌منظور در مرحله‌ی نخست، پرسشنامه‌ی مقایسات زوجی براساس طیف نه‌گانه‌ی ساعتی، هم برای شش چالش اولیه به‌عنوان معیارهای اصلی پژوهش و هم در بین هر دسته از چالش‌ها به عنوان معیارهای فرعی ترسیم شد. پرسشنامه‌ی مذکور، یک پرسشنامه‌ی خبرگان بوده که نیازمند پاسخ‌دهی از سوی کارشناسان و متخصصان حوزه‌ی مربوطه است. از این رو پس از بررسی و پرس‌وجو درباره‌ی خبرگان حوزه‌ی اینترنت اشیا و همچنین به‌دلیل فقدان حضور عملی این فناوری در صنعت کشور، این پرسشنامه در اختیار یک مجموعه‌ای از خبرگان IoT به تعداد شش نفر قرار گرفته است که هم به‌واسطه‌ی تخصصشان در حوزه‌ی الکترونیک و فناوری اطلاعات و ارتباطات و هم سابقه‌ی فعالیت در مباحث هوشمندسازی از جمله خانه‌ی هوشمند و ... اطلاعات و تجربه‌ی ارزشمندی در این زمینه دارا بوده‌اند. پرسشنامه‌ی مذکور به شکلی طراحی شده است که حاوی مطالب موردنیاز برای آگاهی از زنجیره‌ی تامین و IIoT و هدف پژوهش بوده و از طریق شبکه‌های اجتماعی همواره ارتباطات دوسویه مابین پژوهش‌گر و خبرگان برقرار بوده است.

از آنجایی که در پژوهش حاضر گزینه وجود ندارد، ساختار سلسه‌مراتبی آن نیز فاقد سطح گزینه خواهد بود و شش چالش اصلی به عنوان معیار پژوهش و سطح شاخص‌ها مطرح می‌شوند که هر کدام نیز دارای سه الی چهار زیرچالش به عنوان شاخص فرعی هستند. از این‌رو پرسشنامه دارای هفت جدول مقایسات زوجی است به‌صورتی نخستین جدول مقایسات زوجی مربوط به ارزیابی اهمیت و ارجحیت شش چالش قابلیت اطمینان، سرویس‌دهی، شبکه‌سازی، امنیت، حریم خصوصی و مسائل سازمانی است. جداول مقایسات زوجی دوم تا هفتم نیز به بررسی درجه‌ی اهمیت زیرمعیارهای هر کدام از شش چالش مذکور می‌پردازند.

۵ـ۳ـ۱ وزن‌دهی معیارها با AHP فازی

در این بخش ماتریس‌های مقایسات زوجی به همراه اوزان اهمیت معیار هم برای شش چالش استفاده از IIoT و هم برای زیرمعیارهای هریک از این شش چالش ارائه خواهد شد.

هر ماتریس مقایسات، حاصل اخذ میانگین حسابی از نظرات خبرگان می‌باشد. سپس، بعد از به‌کارگیری روش تحلیل توسعه‌ی چانگ، اهمیت معیارها و اوزان نهایی‌اشان حاصل شده است. برای این منظور، ابتد پس از محاسبه مجموع کل و مجموع سطری هر ماتریس، مقادیر S_i ها محاسبه می‌شود. در ادامه اوزان اولیه برای عناصر موجود در ماتریس به‌دست می‌آید و در نهایت نیز اوزان نرمال(W_i) هر چالش و همچنین زیرمعیارها حساب خواهد شد.

۵ـ۴ نتایج AHP فازی

در این بخش جداول مربوط به مقایسات زوجی و همچنین جداول محاسبات اوزان معیارهای اصلی و زیرمعیارها که حاصل تحلیل پاسخ‌نامه‌های دریافتی می‌باشند ارائه خواهند شد.

تمامی جداولی که در ادامه ارائه می‌شود حاصل محاسبات و تحلیل محقق می‌باشد.

۱ـ ماتریس زیر مربوط به چالش‌های اصلی در به‌کارگیری IIoT است. این ماتریس‌ها به ترتیب مقایسات زوجی چالش‌ها و اوزان نرمال هریک از آن‌ها را نشان می‌دهند.

	قابلیت اطمینان	سرویس‌دهی	شبکه‌سازی	امنیت	حریم خصوصی	مسائل سازمانی
قابلیت اطمینان	(۱و۱و۱)	(۲/۰۳و۳/۰۴و۴/۰۶)	(۱/۰۷و۲/۱۱و۳/۱۷)	(۰/۸۱و۱/۳۷و۲)	(۱/۲۹و۲/۳۱و۳/۳۷)	(۲/۲۹و۳/۸۱و۵/۳۷)
سرویس دهی	(۰/۲۴۶و۰/۳۲۸و۰/۴۹۲)	(۱و۱و۱)	(۰/۸۳و۱/۳۸و۲/۰۸)	(۲/۰۳و۳/۰۴و۴/۰۶)	(۱/۶۲و۲/۱۸و۲/۹۱)	(۲/۸۱و۴/۱۲و۵/۷۵)
شبکه سازی	(۰/۳۱۵و۰/۴۷۳و۰/۹۳۴)	(۰/۴۸و۰/۷۲۴و۱/۲)	(۱و۱و۱)	(۲و۳/۵و۵)	(۱/۱۱و۱/۷و۲/۵)	(۲و۳/۷۵و۵/۷۵)
امنیت	(۰/۵و۰/۷۲۹و۱/۲۳۴)	(۰/۲۴۶و۰/۳۲۸و۰/۴۹۲)	(۰/۲و۰/۲۸۵و۰/۵)	(۱و۱و۱)	(۰/۸و۱/۳۳و۲)	(۱/۵۶و۲/۱۲و۲/۷۵)
حریم خصوصی	(۰/۲۹۶و۰/۴۲۱و۰/۷۷۵)	(۰/۳۴۳و۰/۴۵۸و۰/۶۱۷)	(۰/۴و۰/۵۸۸و۰/۹)	(۰/۵و۰/۷۵۱و۱/۲۵)	(۱و۱و۱)	(۲/۷۵و۴/۷۵و۵/۷۵)
مسائل سازمانی	(۰/۱۸۶و۰/۲۶۲و۰/۴۳۶)	(۰/۱۷۳و۰/۲۴۲و۰/۳۵۵)	(۰/۱۷۳و۰/۲۶۶و۰/۵)	(۰/۳۶۳و۰/۴۷۱و۰/۶۴۱)	(۰/۱۷۳و۰/۲۱و۰/۳۶۳)	(۱و۱و۱)

جدول(۱ـ۵) مقایسات زوجی چالش‌ها

	جمع سطری	S_i	وزن اولیه	W_i
قابلیت اطمینان	(۸/۴۹و۱۳/۷و۱۸/۹۷)	(۰/۱۱۵و۰/۲۵۸و۰/۵۳۲)	۱	**۰/۲۷۰۸**
سرویس دهی	(۸/۵۳۶و۱۲/۰۴۸و۱۶/۲۹۲)	(۰/۱۱۶و۰/۲۲۶و۰/۳۰۶)	۰/۸۰۳۶	**۰/۲۰۷۶**
شبکه‌سازی	(۶/۹۰۵و۱۱/۱۴۷و۱۶/۳۸۴)	(۰/۰۹۴و۰/۲۱و۰/۳۰۸)	۰/۷۹۰۶	**۰/۲۱۴۳**
امنیت	(۴/۳۰۶و۵/۷۹۲و۷/۹۷۲)	(۰/۰۵۸و۰/۱۰۹و۰/۲۲۳)	۰/۴۲۰۲	**۰/۱۱۳۸**
حریم‌خصوصی	(۵/۲۸۹و۷/۹۸۳و۱۰/۲۹۲)	(۰/۰۷۲و۰/۱۴۹و۰/۲۸۹)	۰/۵۰۴۵	**۰/۱۲۶۶**
مسائل سازمانی	(۲/۰۶۸و۲/۴۵۱و۳/۲۹۵)	(۰/۰۲۸و۰/۰۴۶و۰/۰۹۲)	۰/۱۷۳۳	**۰/۰۶۷**
جمع کل	(۳۵/۵۹۴و۵۳/۰۷۶و۷۳/۲۰۵)	-	۳/۶۹۲۲	۱

جدول(۲ـ۵) محاسبات اوزان نرمال چالش‌های

۲ـ ماتریس مقایسات زوجی خبرگان برای زیرمعیارهای چالش قابلیت اطمینان و جدول اوزان نرمال آن‌ها در زیر ارائه شده‌است.

	اعتماد	دسترس‌پذیری	زمان‌سنجی و تاخیر
اعتماد	(۱،۱،۱)	(۱/۵۳،۲/۵۵،۳/۵۸)	(۱/۵۴،۲/۵۶،۳/۶۲)
دسترس‌پذیری	(۰/۲۷۹،۰/۳۹۲،۰/۶۵۳)	(۱،۱،۱)	(۱/۵،۲/۷۵،۴/۲۵)
زمان‌سنجی و تاخیر	(۰/۲۷۶،۰/۳۹،۰/۶۴۹)	(۰/۲۳۵،۰/۳۶۳،۰/۶۶۶)	(۱،۱،۱)

جدول(۳ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای قابلیت

	جمع سطری	S_i	وزن اولیه	W_i
اعتماد	(۴/۰۷،۶/۱۱،۸/۲)	(۰/۲۴۷۸،۰/۵۰۸۹،۰/۹۸۰۸)	۱	**۰/۴۸۳۷**
دسترس‌پذیری	(۲/۷۷۹،۴/۱۴۲،۵/۹۰۳)	(۰/۱۶۹۲،۰/۳۴۵۰،۰/۷۰۶۱)	۰/۷۱۶۵	**۰/۳۴۶۵**
زمان‌سنجی و تاخیر	(۱/۵۱۱،۱/۷۵۳،۲/۳۱۵)	(۰/۰۹۲،۰/۱۴۶،۰/۲۷۶۹)	۰/۳۵۱۱	**۰/۱۶۹۸**
جمع کل	(۸/۳۶،۱۲/۰۰۵،۱۶/۴۱۸)	-	۲/۰۶۷۶	۱

جدول(۴ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای

۳ـ ماتریس مقایسات زوجی خبرگان برای زیرمعیارهای چالش سرویس‌دهی و محاسبات اوزان نرمال در جدول زیر مشخص هستند.

	کیفیت سرویس	راحتی	تولرانس خطا	یکپارچگی و استاندارد
کیفیت سرویس	(۱،۱،۱)	(۲/۰۹،۳/۱۷،۴/۳۳)	(۱/۸،۲/۸۳،۴)	(۱/۷۹،۳/۳۱،۴/۸۷)
راحتی	(۰/۲۳،۰/۳۱۵،۰/۴۷۸)	(۱،۱،۱)	(۰/۸۳،۱/۸۷،۳/۰۶)	(۰/۷۸،۱/۲۹،۱/۸۱)
تولرانس خطا	(۰/۲۵،۰/۳۵۳،۰/۵۵۵)	(۰/۳۲۶،۰/۵۳۴،۱/۲)	(۱،۱،۱)	(۱/۵۵،۲/۵۸،۳/۷۵)
یکپارچگی و استاندارد	(۰/۲۰۵،۰/۳۰۲،۰/۵۵۸)	(۰/۵۵۲،۰/۷۷۵،۱/۲۸۲)	(۰/۲۶۶،۰/۳۸۷،۰/۶۴۵)	(۱،۱،۱)

جدول (۵ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای

	جمع سطری	S_i	وزن اولیه	W_i
کیفیت سرویس	(۶/۶۸،۱۰/۳۱،۱۴/۲)	(۰/۲۱۸۷،۰/۴۷۴۷،۰/۹۶۸)	۱	**۰/۴۰۲۸**
راحتی	(۲/۸۴،۴/۴۷۵،۶/۳۴۸)	(۰/۰۹۲۹،۰/۲۰۶۰،۰/۴۳۲۷)	۰/۴۴۳۳	**۰/۱۷۸۵**
تولرانس خطا	(۳/۱۲۶،۴/۴۷۶،۶/۵۰۵)	(۰/۱۰۲۳،۰/۲۰۵۷،۰/۴۴۳۴)	۰/۴۴۵۱	**۰/۱۷۹۴**
یکپارچگی و استاندارد	(۲/۰۲۳،۲/۴۶۴،۳/۴۸۵)	(۰/۰۶۶۲،۰/۱۱۳۴،۰/۲۳۷۵)	۰/۵۹۴۲	**۰/۲۳۹۳**
جمع کل	(۱۴/۶۶۹،۲۱/۷۱۶،۳۰/۵۳۸)	-	۲/۴۸۲۶	۱

جدول (۶ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای

۴ـ ماتریس مقایسات زوجی خبرگان برای زیرمعیارهای چالش شبکه‌سازی و اوزان نرمال زیرمعیارهای شبکه‌سازی ارائه شده‌است.

	ناهمگنی	قابلیت اتصال	قابلیت هم‌کاری
ناهمگنی	(۱و۱و۱)	(۰/۱۴و۰/۲و۰/۳۵)	(۰/۳۷و۰/۴۴و۰/۷)
قابلیت اتصال	(۲/۸۵۷و۵و۷/۱۴۲)	(۱و۱و۱)	(۱/۵۵و۲/۳۳و۳/۵)
قابلیت هم‌کاری	(۱/۴۲۸و۲/۲۷۲و۲/۷۰۲)	(۰/۲۸۵و۰/۴۲۹و۰/۶۴۵)	(۱و۱و۱)

جدول (۵ـ۷) مقایسات زوجی زیرمعیارهای

	جمع سطری	S_i	وزن اولیه	W_i
ناهمگنی	(۱/۵۱و۱/۶۴و۲/۰۵)	(۰/۰۸۳۷و۰/۱۱۹۹و۰/۲۱۲۸)	۰/۲۳۹	**۰/۱۲۷۷**
قابلیت اتصال	(۵/۴۰۷و۸/۳۳و۱۱/۶۴۲)	(۰/۲۹۹۷و۰/۶۰۹۳و۱/۲۰۸۹)	۱	**۰/۴۳۶۲**
قابلیت هم‌کاری	(۲/۷۱۳و۳/۷۰۱و۴/۳۴۷)	(۰/۱۵۰۳و۰/۲۷۰۷و۰/۴۵۱۴)	۱	**۰/۴۳۶۱**
جمع کل	(۹/۶۳و۱۳/۶۷۱و۱۸/۰۳۹)	-	۲/۲۳۹	۱

جدول (۵ـ۸) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای

۵ ـ ماتریس مقایسات زوجی خبرگان برای زیرمعیارهای چالش امنیت و محاسبات اوزان نرمال مربوطه در ادامه خواهید دید.

	شفافیت	ایمنی دستگاه‌ها	محرمانگی و کنترل دسترسی	احراز هویت
شفافیت	(۱،۱،۱)	(۰/۵۹،۱/۱۲،۱/۶۸)	(۰/۶۱،۱/۲،۱/۸۷)	(۰/۶۱،۱/۱۶،۱/۸۱)
ایمنی دستگاه‌ها	(۰/۵۹۵،۰/۸۹۲،۱/۶۹۴)	(۱،۱،۱)	(۰/۶،۰/۶۶،۱)	(۱/۲۹،۱/۸۱،۲/۳۷)
محرمانگی و کنترل دسترسی	(۰/۵۳۴،۰/۸۳۳،۱/۶۱۲)	(۱،۱/۵۱۵،۱/۶۶۶)	(۱،۱،۱)	(۱/۳۱،۱/۸۷،۲/۵)
احراز هویت	(۰/۵۵۲،۰/۸۶۲،۱/۶۳۹)	(۰/۴۲۱،۰/۵۵۲،۰/۷۷۵)	(۰/۴،۰/۵۳۴،۰/۷۶۳)	(۱،۱،۱)

جدول (۹ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای امنیت

	جمع سطری	S_i	وزن اولیه	W_i
شفافیت	(۲/۸۲،۴/۴۸،۶/۳۶)	(۰/۱۲۰۶،۰/۲۶۳۳،۰/۵۰۷۸)	۰/۸۸۷۷	**۰/۲۶۸۱**
ایمنی دستگاه‌ها	(۳/۴۸۵،۴/۳۶۲،۶/۰۶۴)	(۰/۱۴۹،۰/۲۵۶۴،۰/۴۸۴۱)	۰/۸۶۴۰	**۰/۲۶۰۹**
محرمانگی و کنترل دسترسی	(۳/۸۴۴،۵/۲۱۸،۶/۷۷۸)	(۰/۱۶۴۴،۰/۳۰۶۷،۰/۵۴۱۲)	۱	**۰/۳۰۲۰**
احراز هویت	(۲/۳۷۴،۲/۹۴۹،۴/۱۷۷)	(۰/۱۰۱۵،۰/۱۷۳۳،۰/۳۳۳۵)	۰/۵۵۹	**۰/۱۶۸۸**
جمع کل	(۱۲/۵۲،۱۷/۰۱۰۳،۲۳/۳۸۰۶)	-	۳/۳۱۰۷	۱

جدول (۱۰ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای

۶ـ ماتریس مقایسات زوجی خبرگان برای زیرمعیارهای حریم خصوصی و جدول اوزان نرمال در ادامه ارائه می شوند.

	حریم‌خصوصی در سرویس‌دهی	حریم‌خصوصی کاربر	تضاد منافع
حریم‌خصوصی در سرویس‌دهی	(۱،۱،۱)	(۱/۰۵،۱/۸۳،۳)	(۱/۰۶،۱/۶۲،۲/۲۵)
حریم‌خصوصی کاربر	(۰/۳۳۳،۰/۵۴۶،۰/۹۵۲)	(۱،۱،۱)	(۱/۷۵،۳/۲۵،۵/۲۵)
تضاد منافع	(۰/۴۴۴،۰/۶۱۷،۰/۹۴۳)	(۰/۱۹،۰/۳۰۷،۰/۵۷۱)	(۱،۱،۱)

جدول (۱۱ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای حریم

	جمع سطری	S_i	وزن اولیه	W_i
حریم خصوصی در سرویس‌دهی	(۳/۱۱،۴/۴۵،۶/۲۵)	(۰/۱۹۴۷،۰/۳۹۸۳،۰/۷۹۸۴)	۰/۹۵۱۲	**۰/۴۱۶۴**
حریم خصوصی کاربر	(۳/۰۸۳،۴/۷۹۶۴،۷/۲۰۲۳)	(۰/۱۹۳،۰/۴۲۹۳،۰/۹۲۰۱)	۱	**۰/۴۳۷۸**
تضاد منافع	(۱/۶۳۴۴،۱/۹۲۸۴،۲/۵۱۴۷)	(۰/۱۰۲۳،۰/۱۷۲۳،۰/۳۲۱۲)	۰/۳۳۲۸	**۰/۱۴۵۸**
جمع کل	(۷/۸۲۷۴،۱۱/۱۷۱۲،۱۵/۹۶۷)	-	۲/۲۸۴	۱

جدول (۱۲ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای

۷ـ ماتریس مقایسات زوجی خبرگان برای زیرمعیارهای مسائل سازمانی و جدول اوزان نرمال در ادامه ارائه می شوند.

	محدودیت مالی	پشتیبانی و تعهد کم مدیریت	فقدان فرهنگ دیجیتال	آموزش
محدودیت مالی	(۱،۱،۱)	(۱/۵۳،۲/۵۵،۳/۵۸)	(۱/۰۶،۱/۵۶،۲/۱۳)	(۰/۶۱،۱/۱۶،۱/۸۷)
پشتیبانی و تعهد کم مدیریت	(۰/۲۷۹،۰/۳۹۲،۰/۶۵۳)	(۱،۱،۱)	(۰/۷۷،۱/۲۸،۱/۸)	(۱/۵۳،۲/۵۴،۳/۵۶)
فقدان فرهنگ دیجیتال	(۰/۴۶۹،۰/۶۴۱،۰/۹۴۳)	(۰/۵۵۵،۰/۷۸۱،۱/۲۹۸)	(۱،۱،۱)	(۲/۷۵،۴/۲۵،۵/۷۵)
آموزش	(۰/۵۳۴،۰/۸۶۲،۱/۶۳۹)	(۰/۲۸،۰/۳۹۳،۰/۶۵۳)	(۰/۱۷۳،۰/۲۳۵،۰/۳۶۳)	(۱،۱،۱)

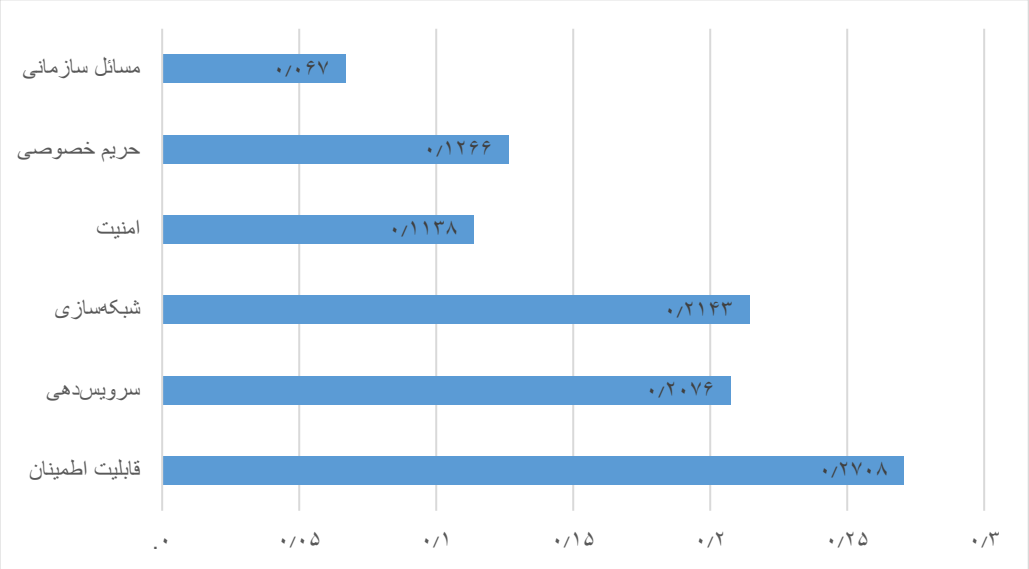
جدول (۱۳ـ۵) مقایسات زوجی زیرمعیارهای مسائل

	جمع سطری	S_i	وزن اولیه	W_i
محدودیت مالی	(۴/۲،۶/۲۷،۸/۵۸)	(۰/۱۴۵،۰/۳۰۳،۰/۵۹)	۰/۹۵۵	**۰/۳۱۱۱**
پشتیبانی و تعهد کم مدیریت	(۳/۵۷۹،۵/۲۱۲،۷/۰۱۳)	(۰/۱۲۳،۰/۲۵۲،۰/۴۸۲)	۰/۸۱۷	**۰/۲۶۶۲**
فقدان فرهنگ دیجیتال	(۴/۷۷۴،۶/۶۷۲،۹/۶۲۱)	(۰/۱۶۵،۰/۳۲۳،۰/۶۶۱)	۱	**۰/۳۲۵۸**
آموزش	(۱/۹۸۷،۲/۴۹،۳/۶۵۵)	(۰/۰۶۸،۰/۱۲،۰/۲۵۱)	۰/۲۹۷	**۰/۰۹۶۸**
جمع کل	(۱۴/۵۴،۲۰/۶۴،۲۸/۸۶)	-	۳/۰۶۹	۱

جدول (۱۴ـ۵) محاسبات اوزان نرمال زیرمعیارهای

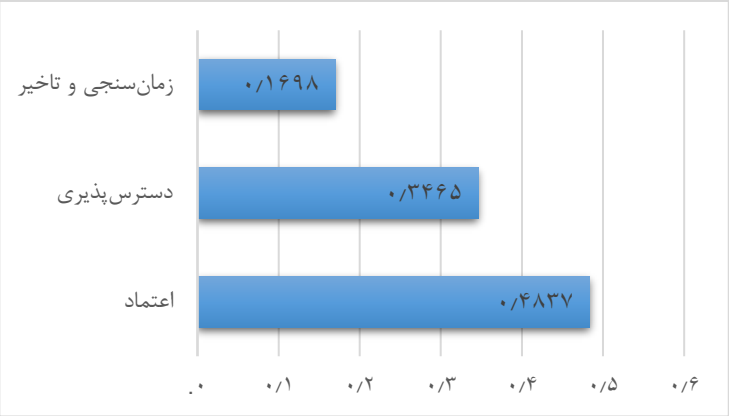
۵ـ۵ نتیجه

نتایج ارزیابی نظرات خبرگان نشان می‌دهد که چالش قابلیت اطمینان در به‌کارگیری IIoT از بالاترین درجه‌ی اهمیت برخوردار می‌باشد. قابلیت اطمینان نشان می‌دهد که چگونه یک سرویس، یک دستگاه یا ماشین و در نهایت یک اپراتور بدون وقفه، تحت یک مجموعه از شرایط عملیاتی، برای یک دوره زمانی خاص، کار می‌کند. برای سیستم‌های اتوماسیون صنعتیِ متصل به یک شبکه‌ی اینترنتی، اطمینان از کارکرد مناسب و بدون وقفه بسیار مهم است؛ چرا که از کارافتادن یک عنصر ممکن است کل سیستم را تحت‌الشعاع قرار دهد. پس از مسئله‌ی قابلیت اطمینان، چالش سرویس‌دهی از درجه‌ی اهیمت بالاتری نسبت به دیگر چالش‌ها برخوردار است. اصولا مفاهیم اینترنت اشیا و مفاهیم ابری مثل رایانش ابری، تولید ابری و غیره بر بستر پلت‌فرم‌هایی با قابلیت ارائه‌ی سرویس بنا نهاده می‌شوند و انجام وظایف و ارائه‌ی کارکردها در قالب ارائه‌ی سرویس‌ها خواهد بود. در به‌کارگیری IIoT، شبکه‌سازی در رده‌ی سوم از لحاظ اهیمت قرار گرفته است. هدف از اینترنت اشیای صنعتی، متصل نمودن تمامی اجز از ماشین‌آلات و دستگاه‌ها گرفته تا سیستم‌های حمل‌ونقل به یک شبکه‌ی مرکزی از طریق اینترنت است. چالش مهم در این زمینه، قابلیت شبکه‌ای شدن این اجزا و ایجاد هویت دیجیتال در آن‌ها است تا بتوان از طریق اینترنت با آن‌ها کار کرد و کنترل‌شان نمود. طبق نظر خبرگان، حریم خصوصی و امنیت به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند و مسائل سازمانی هم دارای پایین درجه‌ی اهمیت خواهد بود.



نمودار(۱ـ۵) اوزان نهایی چالش‌های اصلی

در میان زیرمعیارهای قابلیت اطمینان، بیشترین درجه‌ی اهمیت مربوط به اعتماد است. این‌که بتوان به اطلاعات مبادله‌شده در بین دستگاه‌ها و ماشین‌آلات هوشمند سازمان اعتماد داشت، بسیار مهم است؛ چراکه امروزه تصمیم‌سازی‌ها براساس اطلاعات صورت می‌پذیرد و اطلاعات غلط، تصمیمات نادرست را به‌دنبال خواهند داشت. طبق نتایج ارزیابی، میزان دسترس‌پذیری در درجه‌ی بعدی اهمیت قرار گرفته است.IIoT می‌تواند میزان دسترسی به دستگاه‌ها و ماشین‌آلات و کنترل آن‌ها را از مکان‌های مختلف افزایش داده و رویت‌پذیری و ردیابی قطعات، محصولات، پالت‌ها، کانتینرها و غیره را ممکن سازد. مطابق با تحلیل‌ها، چالش زمان‌سنجی و تاخیر دارای پایین‌ترین مرتبه‌ی اهمیت در بین زیرمعیارهای قابلیت اطمینان خواهد بود.

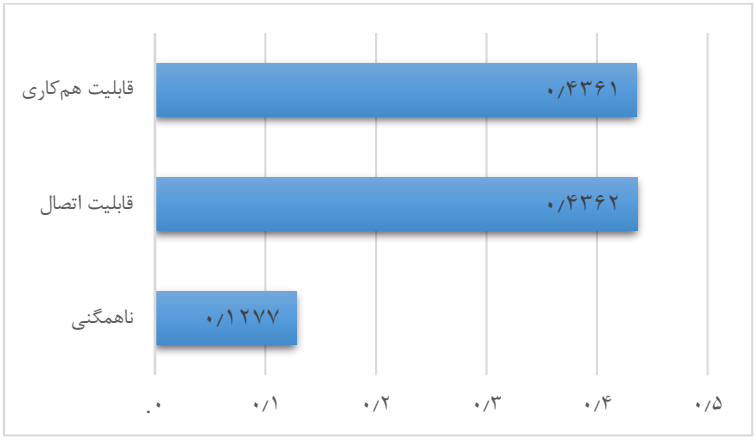


نمودار(۲ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای قابلیت اطمینان

نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که حفظ کیفیت سرویس‌ها از بالاترین درجه‌ی اهیمت در میان چالش‌های پیش‌روی سرویس‌دهی برخوردار است. یکپارچگی و استاندارد در مرتبه‌ی دوم اهیمت قرار گرفته است؛ فقدان یکپارچگی و استانداردی مناسب در میان اجزای IIoT به‌دلیل اثراتی منفی که بر اتصالات و ارتباطات و همچنین جمع‌آوری داده‌ها خواهد داشت ممکن است منجربه تفسیرهای نادرست اطلاعات و در نتیجه تصمیم‌سازی‌های غلط گردد و در زنجیره‌های تامین ایجاد اختلال نماید. تولرانس خطا و راحتی نیز به ترتیب در جایگاه‌های بعدی اهمیت قرار می‌گیرند.

نمودار(۳ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای سرویس‌دهی

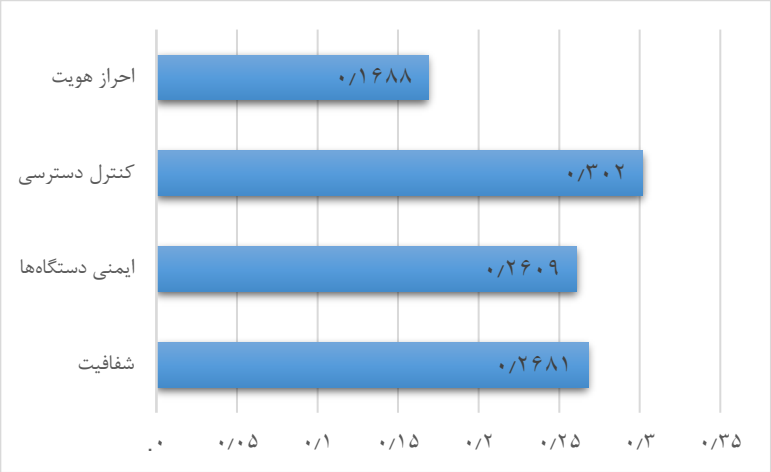
برای زیرمعیارهای شبکه‌سازی در IIoT، نتایج حاصل از تحلیل نظارت خبرگان نشان می‌دهد که قابلیت اتصال دستگاه‌ها و تجهیزات و قابلیت هم‌کاری اجزا و عناصر درگیر از اهمیت تقریبا برابری برخوردار هستند. این دو قابلیت نقش مهمی در حجم ارتباطات و تسهیم اطلاعات ایفا خواهند نمود. ناهمگنی وزن پایین‌تری را نسبت به دو زیرمعیار دیگر کسب کرد.



نمودار(۴ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای شبکه‌سازی

کنترل دسترسی برای محافظت از اطلاعات و سیستم‌های IIoT بسیار حیاتی می‌باشد؛ چراکه در سیستم‌های هوشمند و کامپیوتری قرار است تا با این این اصل، از دسترسی افراد غیرمجاز به سیستم و اطلاعات آن جلوگیری شود و لازم است دستگاه‌ها تحت اِعمال، هدایت و کنترل افراد خاصی مثل اپراتورها قرار گیرند. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که کنترل دسترسی بالاترین درجه‌ی اهمیت را در بین زیرمعیارهای امنیت دارا است. تحلیل نظرات خبرگان نشان داد که زیرمعیارهای امنیت از لحاظ وزنی نسبت به هم نزدیک‌اند و از درجه‌ی اهیمت نزدیک به همی برخوردار می‌باشند. همان‌طور که در

نمودار زیر نشان داده شده‌است، شفافیت در رده‌ی دوم اهیمت قرار گرفته که نشان از مهم‌بودن آگاهی کاربران و اپراتورها نسبت به عملیات سیستم‌های IIoT است. ایمنی، اجرای صحیح دستورات و عملکرد و همچنین کاهش خطرات تجهیزات را موجب خواهد و از وزن تقریبا برابری با شفافیت برخوردار است. طبق نظر خبرگان در رده آخر اهیمت، معیار احراز هویت جای می‌گیرد.

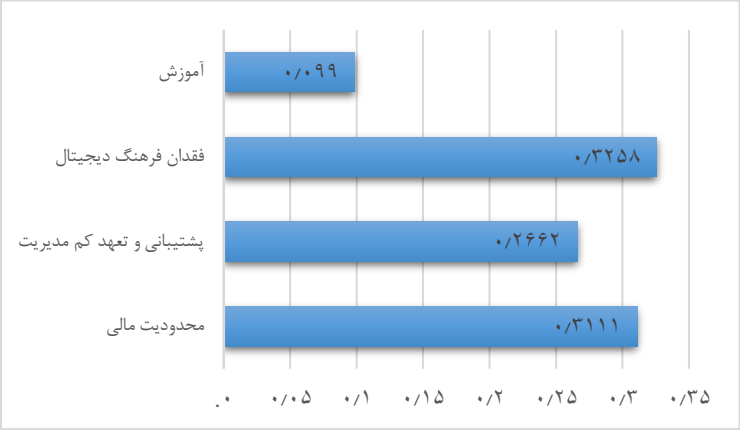


نمودار(۵ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای امنیت

مطابق نمودار(۵.۶) ، حریم خصوصی کاربران و حریم خصوصی در سرویس‌دهی از اهمیت تقریبا یکسانی برخوردار بوده و تضاد منافع نیز داری اهمیتی به مراتب کم‌تر نسبت به دو زیرمعیار مذکور است.

نمودار(۶ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای حریم خصوصی

نبودن فرهنگ دیجیتال در سازمان، بهره‌گیری از حداکثر پتانسیل فناوری اینترنت اشیا را مختل می‌سازد. زیرا دانش فناوری از مهم‌ترین فاکتورهای موفقیت در سازمان‌های تکنولوژی‌محور محسوب می‌گردد. نتایج نشان داد که در میان معیارهای مسائل سازمانی، چالش فقدان فرهنگ دیجیتال از بالاترین وزن و درجه‌ی اهیمت برخوردار است. پس از این چالش، محدودیت‌های مالی به‌عنوان مهم‌ترین چالش در این زمینه شناخته شده‌اند. سرمایه‌گذاری و هزینه‌های ناشی از آن همیشه به عنوان یک دغدغه برای مالکان و مدیران سازمان‌ها محسوب می‌گردد. استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا نیز از این قاعده مستثنی نبوده و چه‌بسا مسئله‌ی هزینه و محدودیت‌های مالی نسبت به سازمان‌هایی که در آن‌ها کم‌تر از فناوری‌های نوین استفاده می‌گردد، نگرانی بالاتری محسوب خواهد شد. ارائه‌ی پشتیبانی از سوی مقامات ارشد سازمان‌ها در به‌کارگیری IIoT از میزان اهمیت بالایی هم‌چون دو چالش قبلی برخوردار است. طبق نظرات خبرگان و نتایج تحلیل‌ها، مسئله‌ی آموزش وزن پایین‌تری نسبت به سه معیار فوق‌الذکر خواهد داشت. اما این به معنای نادیده‌گرفتن بحث تعلیم مفاهیم IoT و آموزش نحوه‌ی استفاده از آن در صنعت نمی‌باشد. چراکه این کارکنان، اپراتورها و حتی مدیران هستند که باید فناوری IIoT را به اهرمی برای پیشبرد امور در تولید محصول و ارائه خدمات تبدیل نمایند و به تصمیم‌سازی و برنامه‌ریزی‌های درست و در زمان واقعی مبادرت ورزند.



نمودار (۷ـ۵) اوزان نهایی زیرمعیارهای مسائل سازمانی

فصل ششم

بحث، نتایج و پیشنهادات

۱ـ۶ بحث

بررسی هوشمندسازی یک زنجیره‌ی تامین که هدف پژوهش حاضر می‌باشد در فصول گذشته مورد بحث قرار گرفته‌است. در فصل دوم، زنجیره‌ی تامین هوشمند، به‌عنوان یک زنجیره‌ی تامین ابری معرفی شده‌است که در آن تولید و تحویل محصول به مشتری با مشارکت سرویس‌دهندگان گوناگون صورت می‌پذیرد. در واقع ماهیت سرویس‌گرا بودن چنین زنجیره‌هایی باعث می‌شود که مفهوم زنجیره‌ی تامین ابری شکل بگیرد.

سیستم ساخت و تولید ابری با تشکیل خطوط تولید مجازی نقش اساسی در پیدایش زنجیره‌های ابری ایفا خواهد نمود. به همین منظور در فصل چهارم یک مدل ریاضی از این نوع سیستم تولیدی ارائه شد که هدف مشخصی برای کمینه‌سازی هزینه‌ی ساخت و حمل محصول را دنبال می‌کرد. در این مدل سرویس‌دهندگان بالقوه‌ای که مطابق با پلت‌فرم ابری در نظر گرفته‌شدند و واجد شرایط از لحاظ زمانی و هزینه‌ای و همچنین کیفیت لازم بودند به‌عنوان آلترناتیوهای سیستم تولید برای تخصیص هر سرویس مشخص تعبیر می‌شدند. محدودیت‌های مدل نیز در راستای همین هدف منظور شده‌اند. مدل مذکور، ترکیب بهینه‌ای از سرویس‌ها را انتخاب می‌کرد و سرویس‌ها را به شکل ترتیبی تخصیص می‌داد.

در ادامه‌ی فصل چهارم، یک مسئله‌ی نمونه‌ی فرضی را برای سنجش مدل ارائه کردیم که توالی مشخصی از مجموعه سروس‌های موردنیاز برای تولید خودرو را نشان می‌داد. همان‌طور که پیش‌تر در فصل دوم توضیح داده‌شد، در زنجیره‌ی ابری تمامی مراحل و فرآیندهای موردنیاز تولید و تحویل محصول در قالب ارائه‌ی سرویس‌های ابری صورت می‌پذیرند، که از این رو بیست سرویس‌دهنده‌ی بالقوه‌ی موجود برای تولید خودرو با مدل ریاضی توسعه‌داده شده مورد ارزیابی قرار گرفته و ترکیب بهینه‌ای از آن‌ها مشخص شده‌است. ما در این مدل نشان دادیم که چگونه بر مبنای یک سیستم جامع مشارکتی به‌نام پلت‌فرم ابری می‌توان از تولیدکنندگان و سرویس‌دهندگان مختلفی که در موقعیت‌های جغرافیایی متفاوت قرار دارند، در تولید مشارکتی محصول بهره گرفت. یک زنجیره‌ی چهارده‌تایی از سرویس‌های لازم برای تولید خودرو توسط این بیست سرویس‌دهنده شکل گرفت که البته لازم به ذکر است که تنها نه سرویس‌دهنده برای پیدایش زنجیره در مسئله‌ی نمونه انتخاب شده‌اند. این ترکیب و نحوه‌ی انتخاب، حساسیت مدل ریاضی ما را نسبت به رعایت حداقل ملاحضات لازم در سرویس‌های ارائه‌شده توسط سرویس‌دهندگان ابری نشان می‌دهد؛ زیرا در مفهوم سرویس‌گرایی، کیفیت سرویس ارائه شده به‌جهت تحقق رضایت مشتری از بالاترین اولویت برخوردار است و این از اهداف اصلی برای هوشمندسازی زنجیره‌های تامین محسوب می‌گردد.

اما نقش فناوری IoT در صنعت زنجیره‌ی تامین یا در هوشمندسازی زنجیره‌های تامین چیست؟

مشخص‌ترین کارکرد یا قابلیت فناوری IoT ، قابلیت اتصال اشیای مختلف و بعضا ناهمگن با یک‌دیگر است که ارتباطات میان اشیای گوناگون را برقرار و تسهیل می‌سازد. IIoT ، همین نقش را در زنجیره‌های ابری نیز ایفا خواهد نمود. برای یک سیستم ابری در تولید محصول که دیده می‌شود مواد و قطعات، محصول نیمه‌ساخته و محصول نهایی میان سرویس‌دهندگان گوناگون در تبادل بوده و تولید محصول زیر یک سقف انجام نخواهد شد، بسیار مهم است که اطلاعات بلادرنگ از وضعیت تولید و شرایط محصول توسط شرکای زنجیره‌ی تامین اخذ گردد. در واقع باید گفت که IIoT برای زنجیره‌ی ابری هوشمند، نقش ارتباطاتی خواهد داشت.

بهره‌گیری از این فناوری با ملزومات و چالش‌هایی همراه می‌باشد که در فصل پنجم به بررسی و ارزیابی این مورد پرداخته شد. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که قابلیت اطمینان برای خبرگان این حوزه از بالاترین درجه‌ی اهمیت برخوردار است. برای اخذکنندگان سرویس‌های ابری اطمینان یافتن از کیفیت سرویس‌ها بسیار مهم است و از این‌رو این فناوری باید یک ابزاری ارتباطی قابل اطمینان بین شرکای زنجیره باشد و بتواند جلوی پیدایش اختلال در طول زنجیره را بگیرد. دومین چالش استفاده از IIoT از نظر اهمیت، شبکه سازی اعلام شد. در سیستم ابری، شرکا، زنجیره‌ای از سرویس‌دهندگان و سرویس‌گیرندگان را تشکیل می‌دهند که با هم در تعامل هستند. سرویس‌دهی در رتبه‌ی سوم از منظر میزان اهمیت قرار می‌گیرد که بیان‌گر جایگاه بالای سرویس‌گرایی در این فناوری است. چالش‌های حریم خصوصی و امنیت و مسائل سازمانی هم در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

۶ـ۲ پیشنهادات

در این بخش پیشنهادات مدیریتی و همچنین پژوهشی ارائه می‌گردد که امید است راه‌گشای افق و آینده‌ی صنعت نوین کشور باشد؛ چرا که امروزه سردمداران صنعت دنیا، تغییر در پارادایم تولید را پذیرفته‌اند و در تلاش برای هم‌سو شدن با آن هستند. بی‌توجهی ما به تغییر نگرش‌ها در صنعت تولید، می‌تواند فاصله‌ی ما را با صنعتی‌شدن و پیشرفت اقتصادی بیشتر سازد.

۶ـ۲ـ۱ پیشنهادات مدیریتی

- به‌نظر می‌رسد با توجه به پتانسیل قابل‌توجهی که سیستم‌های تولید مشارکتی دارند و نقش هم‌افزایی آن‌ها در بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌ها و همچنین افزایش سرعت ارائه محصول به بازار، سیستم ساخت و تولید ابری در یک زنجیره‌ی تامین بتواند از اختلال

در طول زنجیره بکاهد و بر به چابکی آن بی‌افزاید. از این رو سازمان‌های تولیدی و حتی خدماتی می‌توانند با تشکیل پلت‌فرم‌های ابری به ایجاد چنین سیستم تولیدی مبادرت ورزند. با داشتن یک زنجیره‌ی ابری حتی لازم نیست سازمانی حضور فیزیکی و یا خط تولید مشخص داشته باشد، چرا که تمام مراحل تولید و عرضه‌ی محصول را می‌تواند با برون‌سپاری و دریافت سرویس از تامین‌کنندگان مختلف دارا باشد و یک تولیدکننده تلقی گردد. چنین سازمان‌هایی تنها به داشتن پلت‌فرم جامع برای مدیریت و کنترل تولیدشان نیاز خواهند داشت. تمامی فرآیندهای موردنیاز از برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید گرفته تا طراحی، تامین قطعات و مواد، ساخت، مونتاژ و تحویل را تحت چنین پلت‌فرمی می‌توان برون‌سپاری نمود.

- از آن‌جایی که بخش بزرگی از تولید ناخاص داخلی کشورهای صنعتی را شرکت‌های کوچک و متوسط بر عهده دارند و این شرکت‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری به مراتب کم‌تری هستند، می‌توانند نقش بسیار بزرگی در ایجاد زنجیره‌های تامین ابری ایفا نمایند. تخصصی‌سازی از ویژگی مهم این شرکت‌ها در زنجیره‌ی ابری خواهد بود؛ چراکه فرض کنید تولیدکننده‌ی خودرو بدنه‌ی محصولش را از شرکتی می‌گیرد که تنها در این حوزه فعالیت می‌کند و به‌شکل تخصصی بدنه خودرو می‌سازد، در اینجا باتوجه به تمرکز و تجمیع پتانسیل این شرکت برای ساخت به‌روزترین بدنه‌ها و با کیفیت‌ترین آن‌ها می‌توان انتظار داشت که محصول نهایی برای آن خودروساز در این حوزه از درجه‌ی کیفیتی بالا و هزینه‌ی تمام شده‌ی پایین‌تری برخوردار باشد. می‌توان با ایجاد فضای رقابتی بین شرکت‌های کوچک ابری برای ارائه‌ی بهترین سرویس، همیشه دریافت باکیفیت‌ترین و ارزان‌ترین سرویس‌ها را انتظار داشت.

۶ـ۲ـ۲ پیشنهادات پژوهشی

- برای پژوهش‌های آتی در زمینه‌ی زنجیره‌ی تامین ابری، می‌توان جریان برگشتی محصولات را در مدل و هم‌چنین چگونگی مواجهه با اختلال در زنجیره‌های ابری را مورد بررسی قرار داد.
- تحلیل ریسک استفاده از IIoT در صنایع مختلف به‌صورت تخصصی و همچنین بررسی و تحلیل میزان آمادگی سازمان‌های صنعتی و غیرصنعتی کشور از فناوری IIoT نیز برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

۳ـ۶ محدودیت‌های پژوهش

پژوهش حاضر به‌مانند غالب پژوهش‌های علمی با محدودیت‌هایی در دنیای واقعی همراه بوده است؛ محدودیت‌هایی که به‌راستی در درجه‌ی نخست بر کیفیت کار اثر منفی خواهند داشت. فناوری اینترنت اشیا برای همه‌گیر بودن و استفاده شدن در جنبه‌های مختلف زندگی از جمله صنعت تولید و زنجیره‌ی ابری به سرمایه‌گذاری‌های کلانی هم در حوزه‌ی سخت‌افزاریِ فناوری اطلاعات و هم در زمینه‌ی نرم‌افزاری نیاز خواهد داشت که با توجه ساختار اقتصادی کشور ایران، این مهم از عهده‌ی بخش‌های خصوصی اقتصاد به نوعی خارج بوده و نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان توسط دولت درحوزه‌هایی مثل فناوری 5G می‌باشد. به همین خاطر بخش‌های صنعتی کشور و به‌دلیل فقدان فناوری IoT در خطوط تولید کارخانه‌ها و عدم اجرای موفق و کامل در زنجیره‌های تامین، از داشتن IIoT بی‌بهره‌اند.

در این پژوهش به‌دلیل پیدا نکردن یک نمونه‌ی واقعی در صنعت که مفاهیم ابری در زنجیره‌ی ارزش خود استفاده نماید ناچار به ایجاد نمونه‌ی فرضی شدیم که این مسئله از دیگر محدودیت‌های مهم پژوهش محسوب می‌گردد.

- # English References

[1] Ben-Dayaa, M., Hassini, E., and Bahrouna, Z. (2017),***"Internet of things and supply chain management: a literature review***". International Journal of Production Research. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140

[2] Butner, K. (2010), ***"The Smarter Supply Chain of the Future"***. Strategy & Leadership 38 (1): 22–31 .https://doi.org/10.1108/10878571011009859

[3] Zhang,Y., Zhengang Guo, Z. , Jingxiang Lv, J., Liu, Y . (2018*),"A Framework for Smart Production-Logistics Systems Based on CPS and Industrial IoT"* . IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 14, NO. 9, SEPTEMBER 2018.

[4] Simchi-Levi, D., P. Kaminsky, and E. S. Levi. (2003), ***"Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies"***. New York: McGraw-Hill.

[5] Christopher, M., and M. Holweg. (2011), "***Supply Chain 2.0": Managing Supply Chains in the Era of Turbulence"***.International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 41 (1): 63–82.

[6] Xia, F., Yang, L.T., Wang, L., Vinel, A. (2012), ***"Internet of Things".*** International Journal of Communication System;25(9):1101–2.

[7] Tan, J and Koo,S.G.M . (2014), ***"A survey of technologies in internet of things"***. IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems: pp. 269-274. doi:10.1109/DCOSS.2014.45.

[8] Helmiö,P. (2018), ***"Open Source in Industrial Internet of Things: A Systematic Literature Review".*** Master's Thesis, School of Business and Management, Lappeenranta University of Technology, 2018, p. 21.

[9] iiconsortium.org. (2018) , **"*Industrial Internet Consortium, What Is the Industrial Internet? "*** .[online], 2018. Available: https://www.iiconsortium.org/about-industrial-internet.ht.

[10] Xu,X. (2012), ***"From cloud computing to cloud manufacturing"***. Robot Com-Int Manuf;28(1):75–86.

[11] Zhang ,L., Luo ,Y., Tao ,F., Li ,B.H., Ren L, Zhang ,X., et al . (2012), ***"Cloud manufacturing: A new manufacturing paradigm"***. Enterp Inf Syst—UK 2012;8(2):167–87. doi: 10.1080/17517575.2012.683812

[12] Abdol Majeed ,M.A., Rupasinghe ,T. (2017) , ***"Internet of Things (IoT) Embedded Future Supply Chains for Industry 4.0: An Assessment from an ERP-based Fashion Apparel and Footwear Industry" .*** International Journal of Supply Chain Management. Vol. 6, No. 1, March 2017

[13] Zhou, K., T. Liu, and L. Zhou. (2015), ***"Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges"***.In Proceedings of 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Zhangjiajie, China, 2147–2152.

[14] D. Lukač. (2015),***"The fourth ICT-based industrial revolution".*** 23rd Telecommunications Forum Telfor, IEEE, 2015, pp. 835–838

[15] "***Industrie 4.0*** " Available: vailable: https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojektindustrie- 4-0-848.html.

[16] Oh, J & Jeong, B. (2019),***"Tactical supply planning in smart manufacturing supply chain"***. Robotics and Computer Integrated Manufacturing 55 (2019) 217–233. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.04.003

[17] Boyes,H., Hallaq,B., Cunningham,j., Waston,T. (2018), ***"The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework"*** . Journal of Computers in Industry 101: pp.1–12. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015

[18] Kagermann, H., W. Wahlster, and J. Helbig. (2013), ***"Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group"***. Acatech-National Academy of Science and Engineering, Munich, Germany.

[19] Premkumar, G., and Roberts, M. (1999) , "***Adoption of new information technologies in rural small businesses"***. Omega, 27(4): 467-484.

[20] Tao,F., Cheng,Y., Xu,L.D, Zhang,L., Li,B.H. (2014). ***"CCIoT-CMfg: Cloud Computing and Internet of Things-Based Cloud Manufacturing Service System"*** . IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 10, NO. 2, MAY 2014. doi: 10.1109/TII.2014.2306383

[21] Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. (2010), ***"The Internet of Things: A survey"*** . Journal of Computer Networks 54 (2010) 2787–2805. doi:10.1016/j.comnet.2010.05.010

[22] Miorandi ,D., Sicari ,S., DePellegrini, F.,Chlamtac ,I. (2012), "***Internet of things: Vision, applications and research challenges"***, Journal of Ad Hoc Netw. 10 (2012) 1497–1516. doi:10.1016/j.adhoc.2012.02.016.

[23] Ma, H.D. (2011), **"*Internet of Things: objectives and scientific challenges"***. Journal of Computer Science and Technology 26 (6), 919–924.

[24] Bandyopadhyay ,D and Sen ,J. (2011), ***"Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization"*** . Wireless Personal Communications, vol.58, no.1, pp.49–69. doi:10.1007/s11277-011-0288-5.

[25] Sisinni ,E., Saifullah ,A., Han ,A., Jennehag., Gidlund ,M. (2018),***"Industrial Internet of Things: Challenges,Opportunities, and Directions".*** IEEE Transaction on industrial informatics, VOL. X, NO. X, APRIL 2018 . doi : 10.1109/TII.2018.2852491

[26] Cheng, J., Xu, L.D., Chen,W., Tao,F., Lin,C-L. (2018), ***"Industrial IoT in 5G Environment towards Smart Manufacturing "***. Journal of Industrial Information Integration. DOI: 10.1016/j.jii.2018.04.001

[27] Edwards, P. Peters, M., Sharman, G. (2001***)."The effectiveness of information systems in supporting the extended supply chain"***. Journal of Business Logistics", Vol. 22, no. 1, pp 1-22.

[28] Tadejko ,P.(2015),***"Application of Internet of Things in Logistics – Current Challenges"***. Journal of Economics and Management , Volume 7, pages: 54-64 . doi : 10.12846/j.em.2015.04.07

[29] Yan, J., Xin, S., Liu, Q., Xu, W., Yang, L., Fan, L.,Chen, B., Wang, Q. (2014), ***"Intelligent Supply Chain Integration and Management Based on Cloud of Things."*** International Journal of Distributed Sensor Networks 10 (3): 624839.

[30] Manavalan,E ,and Jayakrishna, K. (2018), ***"A review of Internet of Things (IoT) embedded Sustainable Supply Chain for Industry 4.0 requirements"*** , Journal of computer & industrial enginnering. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030

[31] Verdouw, C. N., A. J. M. Beulens, and J. G. A. J. van der Vorst. (2013), "***Virtualisation of Floricultural Supply Chains: A Review from an Internet of Things Perspective."*** Computers and Electronics in Agriculture 99: 160–175. http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.006

[32] Verdouw, C.N., Wolfert, J., A.J.M. Beulens., Rialland, A. (2015), "***Virtualization of food supply chains with the internet of things."*** Journal of Food Engineering . http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.009

[33] Accorsi ,R., Bortolini ,M., Baruffaldi ,G., Pilati ,F., Ferrari. (2017), ***"Internet-of-Things paradigm in food supply chains control and management"***, in: 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017,27-30 June 2017, Modena, Italy. Procedia Manufacturing 11 (2017) 889 – 895 . doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.192.

[34] Ting,S.L., Kwok ,S.K., Tsang,A.H.C., Lee ,W.B. (2010), **"*Enhancing the information transmission for pharmaceutical supply chain based on Radio Frequency Identification (RFID) and Internet of Things"***. in: 2010 8th Int. Conf. Supply Chain Manag. Inf. Syst. SCMIS, 2010: pp. 1–5.

[35] Yu, J., N. Subramanian, K. Ning, and D. Edwards., (2015), ***"Product Delivery Service Provider Selection and Customer Satisfaction in the Era of Internet of Things: A Chinese E-Retailers' Perspective."*** International Journal of Production Economics 159: 104–116.

[36] Qiu, X., H. Luo, G. Xu, R. Zhong, and G. Q. Huang. (2015), ***"Physical Assets and Service Sharing for IoT Enabled Supply Hub in Industrial Park (SHIP)"*** .International Journal of Production Economics 159: 4–15.

[37] Luthra, S., and Mangla, S.K. (2018), ***"Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies"*** . Process Safety and Environmental Protection 117 (2018) 168–179. https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018

[38] Abdel-Basset.M , Manogaran.G, Mohameda.M . (2018), ***"Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems"*** . The Juornal of Future Generation Computer Systems. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.051

[39] Chen ,B., Wan ,J., Ahu ,L., Li ,P., Mukherjee ,M., Yin ,B. (2018), *"**Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges".*** IEEE : Volume 6 , 2018. doi:10.1109/ACCESS.2017.2783682

[40] Dillon, Th., Wu, Ch., Chang, E., (2010), ***"Cloud Computing: Issues and Challenges"*** .2010 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. doi:10.1109/AINA.2010.187

[41] Wu, D., John Greer, M., W. Rosen , D., Schaefer, D. (2013),***"Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art"***. Journal of Manufacturing Systems, 2013. 32(4): p. 564-579. doi:10.1016/j.jmsy.2013.04.008

[42] Tao, F., et al, (2011),***"Cloud manufacturing: a computing and service-oriented manufacturing model"***. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2011. 225(10): p. 1969-1976. doi : 10.1177/0954405411405575

[43] Akbaripour, H., Houshmand, M., van Woensel, T., Mutlu, N. (2017), ***"Cloud manufacturing service selection optimization and scheduling with transportation considerations: mixed-integer programming models"***. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. doi: 10.1007/s00170-017-1167-3

[44] Rosenthal, A., Mork, p., Li, M., Stanfor, J., Koester, D., Reynolds, P. (2010), "***Cloud computing: a new business paradigm for biomedical information sharing"***. Journal of Biomedical Informatics 43 (2010) 342–353. doi:10.1016/j.jbi.2009.08.014

[45] Tao, F., Y. Hu, and L. Zhang. (2010),**"*Theory and practice : optimal resource service allocation in manufacturing grid"***. China Machine Press. ed, 2010. 1: p. 1-18.

[46] Yan, Z., Zhang, P., Vasilakos, A.V. (2014), "***A survey on trust management for Internet of Things"***. J.Netw. Comput. Appl. 42 (2014) 120e134

[47] Minh Ly, Ph.Th., Lai,W-H., Hsu, Ch-W., Shih, F-Y. (2018) , ***"Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises"***. Journal of Technological Forecasting & Social Change 136 (2018) 1–13 . doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.016

[48] Breivold, H & Kristian Sandström, k. (2015),***"Internet of Things for Industrial Automation - Challenges and Technical Solutions"*** . IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems. doi:10.1109/DSDIS.2015.11

[49] Kamali, A., Ghafoori, S., Mohammadian, A., Mohammadkazemi, R., Mahbanooei, B., Ghasemi, R. (2018), "A Fuzzy Analytic Network Process (FANP) approach for prioritizing internet of things challenges in Iran". Journal of Technology in Society 1-11. doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.01.007.

[50] Chang, Y., Dong, X., Sun, W. (2014), Influence of characteristics of the internet of things on consumer purchase intention. Soc. Behav. Personal. Int. J. 42, 321–330. http://dx.doi.org/10.2224/sbp.2014.42.2.321

[51] Khan, A & Turowski,K. (2016), "A Survey of Current Challenges in Manufacturing Industry and Preparation for Industry 4.0". First International Scientific Conference : Intelligent Information Technologies for Industry, (IITI'16) . Springer International Publishing Switzerland . doi: 10.1007/978-3-319-33609-1_2

[52] Yang, J & Fang, B.,(2011), "Security model and key technologies for the Internet of things", J. China Univ. Posts Telecommun. 18 (2011) 109e112

[53] Rose, k., Eldridge, S., Chapin, L. (2015), ***"The internet of things: an overview"***. https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf

[54] Grammatikis, P.I.R ., Sarigiannidis, P.G., Moscholios, I.D., (2019), "Securing the Internet of Things: Challenges, threats and solutions". Journal of Internet of Things 5 (2019) 41–70. doi.org/10.1016/j.iot.2018.11.003

[55] Liu, J., Xiao, Y., Chen, C.L.P., (2012), "Authentication and Access Control in the Internet of Things". 2012 32nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops . IEEE . https://www.researchgate.net/publication/261479017. doi 10.1109/ICDCSW.2012.23

[56] G. Chetty, G & Wagner, M., (2012), "Audio-visual multimodal fusion for biometric person authentication and liveness veriftion". International Journal of Advanced Science and Technology, 48:23–60, Nov. 2012.

[57] Yu, J., Bang, H.C., Lee, H., Lee, Y.S., (2016) ,"Adaptive internet of things and web of things convergence platform for internet of reality services". J. Supercomput. 72 (1), 84–102.

- **منابع فارسی**

[۵۸] جعفرنژاد، احمد . (۱۳۹۴) ، ***مدیریت تولید و عملیات نوین (مفاهیم، سیستم‌ها، مدل‌ها و زنجیره‌ی تامین)*** . انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، تهران

[۵۹] بروغنی، مهناز. (۱۳۹۶) ، ***طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تامین حلقه - بسته‌ی سبز (مطاله ی موردی زنجیره ی تامین پلی استایرن).*** پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود ـ دانشکده‌ی علوم ریاضی. تاریخ دفاع : بهمن۱۳۹۶

[۶۰]موسوی، سید محمد سجاد. (۱۳۹۱)، ***اولویت‌بندی و تحلیل موانع استفاده از فناوری شناسایی توسط امواج رادیویی(RFID) در زنجیره تامین صنعت خودروسازی در ایران*** پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه علامه طباطبایی ـ دانشکده مدیریت و حسابداری. زمستان ۱۳۹۱. قابل دسترسی در پایگاه اطلاعات علمی ایران(گنج): مرداد۱۳۹۸

[۶۱] آقاجانی، علی .، فتاحی، محمد. (۱۳۹۸) ، ***بررسی جایگاه تولید هوشمند در توسعه‌ی انقلاب چهارم صنعتی*** ، چهارمین کنفرانس مدیریت صنعتی ـ دانشگاه یزد . ۴و۵ اردیبهشت

[۶۲] امانی . پوریا ، تاجفر . امیرهوشنگ ، قیصری . محمد ، ***به کارگیری فناوری اینترنت اشیا در زنجیره تامین: برنامه های کاربردی برای ردیابی پالت و کانتینر.*** سومین کنفرانس بین المللی نوآوری‌های اخیر در مهندسی برق و کامپیوتر. شهریور ۱۳۹۵.

[۶۳] اسماعیلی، میترا. (۱۳۹۵) ، ***کنترل دسترسی و اعتماد در اینترنت اشیا.*** پایان‌نامه دانشگاه الزهرا ـ دانشکده فنی و مهندسی. رشته مهندسی کامپیتر بهمن ۱۳۹۵ . قابل دسترسی در پایگاه اطلاعات علمی ایران(گنج) : خرداد ۱۳۹۸

[۶۴] قاسمی،روح‌الله.، محقر، علی.، صفری، حسین.، اکبری، محمدرضا. (۱۳۹۵)، ***اولویت بندی کاربردهای فناوری اینترنت اشیا در بخش بهداشت و درمان ایران: محرکی برای توسعهٔ پایدار*** . نشریه مدیریت فناوری اطلاعات ـ دانشگاه تهران دوره هشتم، شماره ۱ بهار۱۳۹۶ صفحه۱۵۵ـ۱۷۶

[۶۵] ولی‌پور، محمد.، صفایی قادیکلایی، عبدالحمید.، اکبرزاده، زین‌العابدین، قاسم‌نیا، نرجس. (۱۳۹۵)***ارزیابی و پیش بینی تولید پایدار با استفاده از رویکرد ترکیبی فازی چند درجه‌ای و شبکه عصبی مصنوعی (مورد مطالعه: شرکت لبنی کاله)*** . پژوهش‌های مدیریت در ایران. دوره۲۰، شماره۱، بهار۹۵.

[۶۶] قلندری، رقیه. (۱۳۹۶)، ***ارزیابی تاثیر بکارگیری فناوری اینترنتی از اشیا بر بهبود مدیریت موجودی(مطالعه‌ی موردی فروشگاه زنجیره‌ای مازندران)***. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه پیام نور مرکز تهران غرب. مهر ۱۳۹۶ . قابل دسترسی در پایگاه اطلاعات علمی ایران(گنج):اردیبهشت۱۳۹۸

[۶۷] فاتحی، امیر .(۱۳۹۵)، ***تاثیر بهره‌گیری از رایانش ابری بر اثربخشی سازمانی (مطالعه موردی موسسه تحقیقات واکسن و سرم سازی رازی)***. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه پیام نور ـ واحد تهران غرب. گروه مدیریت. قابل دسترسی در پایگاه اطلاعات علمی ایران(گنج): اردیبهشت۱۳۹۸

[۶۸] عباس طلایی، علی. (۱۳۹۴)، ***طراحی و ارزیابی سیستم تولید ابری با تکنیک طراحی مبتنی بر بدیهیات و رویکرد فازی تردیدی*** . پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود ـ دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت . بهمن ۱۳۹۴. قابل دسترسی در پایگاه اطلاعات علمی ایران(گنج):اردیبهشت۱۳۹۸

[۶۹]جمشیدی، محمدرضا. (۱۳۹۶)، ***ارائه یک مدل بهینه‌سازی ترکیب و تطبیق سرویس‌های برون‌سپاری توامان عملیات طرح‌ریزی و حمل و نقل در شبکه تامین و تولید ابری*** . پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف ـ دانشکده مهندسی صنایع. شهریور ۱۳۹۶. قابل دسترسی در پایگاه اطلاعات علمی ایران(گنج):خرداد۱۳۹۸

[۷۰] آقامحمدزاده، احسان. (۱۳۹۶)، ***بهینه‌سازی ترکیب سرویس‌های عملیات و حمل و نقل با ویژگی همگرایی در شبکه تامین ابری*** . پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف ـ دانشکده مهندسی صنایع. دی ۱۳۹۶. قابل دسترسی در پایگاه اطلاعات علمی ایران(گنج):خرداد۱۳۹۸

[۷۱] عصاری، مژگان. (۱۳۹۶) ، ***برنامه‌ریزی برون‌سپاری عملیات ساخت و مسیریابی توامان در شبکه ساخت و تولید ابری با در نظرگرفتن امکان خوشه‌بندی مشتریان*** . پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف ـ دانشکده مهندسی صنایع. شهریور ۱۳۹۶. قابل دسترسی در پایگاه اطلاعات علمی ایران(گنج):خرداد۱۳۹۸

[۷۲] کردگاری.عادله ، عشقی.کوروش ، اکبری‌پور.حسین. (۱۳۹۷)، ***ترکیب سرویس‌ها در ساخت و تولیدی ابری : مدلسازی ریاضی و توسعه‌ی الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر آنالیز چشم‌انداز***. نشریه‌ی پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید . بهار و تابستان ۹۷. صفحه ۸۳تا۱۰۲

[۷۳] مهرگان، محمدرضا. (۱۳۹۲) ، ***پژوهش عملیاتی : برنامه‌ریز خطی و کاربردهای آن***. انتشارات نشر کتاب دانشگاهی، چاپ سی و هشتم، ویراست چهارم، تهران

[۷۴] اصغری‌زاده، عزت‌الله.، محمدی، عبدالکریم. (۱۳۹۶) ، ***تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه*** . انتشارات دانشگاه تهران، موسسه‌ی انتشارات، چاپ اول، تهران

[۷۵] مومنی، منصور. (۱۳۹۳) ، ***مباحث نوین در تحقیق در عملیات*** . ناشر : مولف ، چاپ ششم تابستان ۱۳۹۳

• ضمیمه ۱ : جداول مقایسات زوجی در پرسشنامه‌ی پژوهش

جدول مقایسات زوجی چالش‌های اصلی																		
معیار i	اولویت‌ها																	معیار j
	ارجحیت بی‌نهایت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت کم	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت یکسان	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت کم	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت بی‌نهایت زیاد	
قابلیت اطمینان	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سرویس دهی
قابلیت اطمینان	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شبکه‌سازی
قابلیت اطمینان	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ایمنی
قابلیت اطمینان	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	حریم خصوصی
قابلیت اطمینان	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	مسائل سازمانی
سرویس دهی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شبکه‌سازی
سرویس دهی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ایمنی
سرویس دهی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	حریم خصوصی
سرویس دهی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	مسائل سازمانی
شبکه‌سازی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ایمنی
شبکه‌سازی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	حریم خصوصی
شبکه‌سازی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	مسائل سازمانی
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	حریم خصوصی
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	مسائل سازمانی
حریم خصوصی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	مسائل سازمانی

جدول مقایسات زوجی زیرمعیارها برای قابلبیت اطمینان																		
معیار i	اولویت‌ها																	معیار j
	ارجحیت بینهایت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت کم	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت یکسان	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت کم	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت بینهایت زیاد	
اعتماد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	دسترس‌پذیری
اعتماد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	زمان‌سنجی و تاخیر
دسترس‌پذیری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	زمان‌سنجی و تاخیر

جدول مقایسات زوجی زیرمعیارها برای سرویس‌دهی																		
معیار i	اولویت‌ها																	معیار j
	ارجحیت بینهایت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت کم	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت یکسان	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت کم	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت بینهایت زیاد	
کیفیت سرویس	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	راحتی
کیفیت سرویس	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تولرانس خطا
کیفیت سرویس	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	یکپارچگی و استاندارد
راحتی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تولرانس خطا
راحتی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	یکپارچگی و استاندارد
تولرانس خطا	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	یکپارچگی و استاندارد

جدول مقایسات زوجی زیرمعیارها برای شبکه‌سازی																		
معیار i	اولویت‌ها																	معیار j
	ارجحیت بینهایت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت کم	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت یکسان	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت کم	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت بینهایت زیاد	
ناهمگنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت اتصال
ناهمگنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت همکاری
قابلیت اتصال	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت همکاری

جدول مقایسات زوجی زیرمعیارها برای ایمنی																		
معیار i	اولویت‌ها																	معیار j
	ارجحیت بینهایت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت کم	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت یکسان	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت کم	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت بینهایت زیاد	
شفافیت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ایمنی دستگاه
شفافیت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کنترل دسترسی
شفافیت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	احراز هویت
ایمنی دستگاه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کنترل دسترسی
ایمنی دستگاه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	احراز هویت
کنترل دسترسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	احراز هویت

جدول مقایسات زوجی زیرمعیارها برای حریم خصوصی																		
معیار i	اولویت‌ها																	معیار j
	ارجحیت بینهایت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت کم	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت یکسان	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت کم	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت بینهایت زیاد	
حریم خصوصی در سرویس‌دهی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	حریم خصوصی کاربر
حریم خصوصی در سرویس‌دهی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تضاد منافع
حریم خصوصی کاربر	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تضاد منافع

جدول مقایسات زوجی زیرمعیارها برای مسائل سازمانی																		
معیار i	اولویت‌ها																	معیار j
	ارجحیت بینهایت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت کم	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت یکسان	ارجحیت خیلی کم	ارجحیت کم	ارجحیت نسبتا کم	ارجحیت متوسط	ارجحیت نسبتا زیاد	ارجحیت زیاد	ارجحیت خیلی زیاد	ارجحیت بینهایت زیاد	
محدودیت مالی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پشتیبانی و تعهد کم مدیریت
محدودیت مالی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	فقدان فرهنگ دیجیتال
محدودیت مالی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آموزش
پشتیبانی و تعهد کم مدیریت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	فقدان فرهنگ دیجیتال
پشتیبانی و تعهد کم مدیریت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آموزش
فقدان فرهنگ دیجیتال	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آموزش

- **ضمیمه ۲: ماتریس فاصله‌ی شهرهای سرویس‌دهنده از یک‌دیگر**

km	اراک	ارومیه	اصفها	اهواز	بیرج	بجنور	بوشهر	تبریز	تهران	زاهدا	ساری	سمن	شیراز	کرمان	کرج	گرگ	مشهد	همدا	یاسوج	یزد
اراک		۷۱۵	۳۲۷	۵۳۵	۱۱۵	۹۵۸	۹۸۲	۷۳۶	۲۷۶	۱۴۷	۵۲۱	۴۱۶	۸۰۳	۹۷۷	۲۸۳	۵۶۳	۱۰۹	۱۸۹	۶۶۰	۶۱۸
ارومیه	۷۱۵		۱۰۲	۱۰۴	۱۸۹	۱۴۴۶	۱۴۹	۱۴۶	۷۵۷	۲۱۴	۱۰۰	۹۸۳	۱۵۰	۱۶۴۲	۷۱۷	۱۱۴	۱۶۶۰	۵۳۰	۱۳۶۲	۱۲۸
اصفها	۳۲۷	۱۰۲		۵۱۱	۸۵۵	۱۱۲	۶۱۶	۸۹۰	۴۴۵	۱۱۷	۶۹۰	۵۷۴	۴۷۷	۶۷۱	۴۳۴	۸۲۴	۱۲۵	۵۰۹	۳۳۰	۳۱۲
اهواز	۵۳۵	۱۰۴	۵۱۱		۱۳۵	۱۴۹	۴۵۳	۱۱۶۷	۸۰۷	۱۶۸۹	۱۰۵	۹۵۰	۵۲۴	۱۰۹	۸۱۵	۱۱۸	۱۶۳۰	۵۷۶	۴۲۱	۷۹۸
بیرج	۱۱۵	۱۸۹	۸۵۵	۱۳۵		۶۵۸	۱۲۹	۱۷۵	۱۱۳۶	۴۵۱	۹۷۸	۹۱۳	۱۱۲	۵۶۱	۱۱۸	۹۶۲	۵۰۴	۱۳۰	۱۰۰	۶۲۷
بجنور	۹۵۸	۱۴۴۶	۱۱۲	۱۴۹	۶۵۸		۱۷۵	۱۳۰	۶۸۷	۱۱۰	۴۳۷	۵۴۱	۱۶۰۴	۱۰۰	۷۳۰	۳۰۸	۲۵۸	۱۰۰۶	۱۴۶۵	۱۰۱
بوشهر	۹۸۲	۱۴۹	۶۱۶	۴۵۳	۱۲۹	۱۷۵		۱۵۰	۱۰۶۳	۱۳۴	۱۳۰	۱۱۹	۲۸۷	۸۵۵	۱۰۵	۱۴۴	۱۵۹	۱۰۲	۲۹۳	۶۷۰
تبریز	۷۳۶	۱۴۶	۸۹۰	۱۱۶۷	۱۷۵	۱۳۰	۱۵۰		۶۱۸	۱۹۹	۸۶۹	۸۴۰	۱۳۶۶	۱۵۰	۵۷۷	۹۹۸	۱۵۲	۵۹۷	۱۱۲	۱۱۴
تهران	۲۷۶	۷۵۷	۴۴۵	۸۰۷	۱۱۳۶	۶۸۷	۱۰۶۳	۶۱۸		۱۴۸	۲۵۰	۲۲۲	۹۲۳	۹۸۴	۴۴	۳۸۱	۹۰۴	۳۱۷	۷۷۸	۶۲۴
زاهدا	۱۴۷	۲۱۴	۱۱۷	۱۶۸۹	۴۵۱	۱۱۰	۱۳۴	۱۹۹	۱۴۸		۱۴۲	۱۳۶۱	۱۰۶۶	۵۰۸	۱۵۰	۱۴۰	۹۵۰	۱۶۲۱	۱۲۲	۸۶۱
ساری	۵۲۱	۱۰۰	۶۹۰	۱۰۵	۹۷۸	۴۳۷	۱۳۰	۸۶۹	۲۵۰	۱۴۲		۲۰۲	۱۱۶۷	۱۲۲	۲۹۲	۱۳۱	۶۹۷	۵۶۸	۱۰۲	۸۶۹
سمن	۴۱۶	۹۸۳	۵۷۴	۹۵۰	۹۱۳	۵۴۱	۱۱۹	۸۴۰	۲۲۲	۱۳۶۱	۲۰۲		۱۰۵	۱۱۱	۲۶۶	۳۳۶	۶۸۱	۵۳۱	۹۰۵	۷۵۱
شیراز	۸۰۳	۱۵۰	۴۷۷	۵۲۴	۱۱۲	۱۶۰۴	۲۸۷	۱۳۶۶	۹۲۳	۱۰۶۶	۱۱۶۷	۱۰۵		۵۷۰	۹۱۶	۱۲۹	۱۳۶۱	۹۹۲	۱۷۵	۴۳۶
کرمان	۹۷۷	۱۶۴۲	۶۷۱	۱۰۹	۵۶۱	۱۰۰	۸۵۵	۱۵۰	۹۸۴	۵۰۸	۱۲۲	۱۱۱	۵۷۰		۱۰۰	۱۳۶۱	۹۱۸	۱۱۲	۷۲۵	۳۶۱
کرج	۲۸۳	۷۱۷	۴۳۴	۸۱۵	۱۱۸	۷۳۰	۱۰۵	۵۷۷	۴۴	۱۵۰	۲۹۲	۲۶۶	۹۱۶	۱۰۰		۴۲۴	۹۵۰	۳۲۰	۷۶۷	۶۴۴
گرگ	۵۶۳	۱۱۴	۸۲۴	۱۱۸	۹۶۲	۳۰۸	۱۴۴	۹۹۸	۳۸۱	۱۴۰	۱۳۱	۳۳۶	۱۲۹	۱۳۶۱	۴۲۴		۵۶۶	۷۰۱	۱۱۵	۱۰۰
مشهد	۱۰۹	۱۶۶۰	۱۲۵	۱۶۳۰	۵۰۴	۲۵۸	۱۵۹	۱۵۲	۹۰۴	۹۵۰	۶۹۷	۶۸۱	۱۳۶۱	۹۱۸	۹۵۰	۵۶۶		۱۲۰	۱۳۰	۹۲۳
همدا	۱۸۹	۵۳۰	۵۰۹	۵۷۶	۱۳۰	۱۰۰۶	۱۰۲	۵۹۷	۳۱۷	۱۶۲۱	۵۶۸	۵۳۱	۹۹۲	۱۱۲	۳۲۰	۷۰۱	۱۲۰		۸۴۲	۷۶۳
یاسوج	۶۶۰	۱۳۶۲	۳۳۰	۴۲۱	۱۰۰	۱۴۶۵	۲۹۳	۱۲۲	۷۷۸	۱۲۲	۱۰۲	۹۰۵	۱۷۵	۷۲۵	۷۶۷	۱۱۵	۱۳۰	۸۴۲		۳۸۰
یزد	۶۱۸	۱۲۸	۳۱۲	۷۹۸	۶۲۷	۱۰۱	۶۷۰	۱۱۴	۶۲۴	۸۶۱	۸۶۹	۷۵۱	۴۳۶	۳۶۱	۶۴۴	۱۰۰	۹۲۳	۷۶۳	۳۸۰	

Abstract

Traditional supply chains often face to numerous challenges such as uncertainty, high cost, complexity and vulnerability. In order to overcome these issues, and given the ever-increasing advances in technologies, supply chains must be smart so that their processes are automated and better managed. In fact, the tactical and operational decisions of enterprises and companies should be taken at a lower time and faster pace, and in order to maintain competitive advantage in today's business world, we must reduce non-valuable costs and increase customer responsiveness. Nowadays, partners and actors in a chain, including suppliers, producers, micro and macro distributors, and ultimately end-users, need more transparency than past to information and inventory. Achieving the cloud supply chain is the a goal that we are pursuing in this research to reach to smart supply chains. To this end, this thesis utilizes a modern concept called cloud manufacturng to optimize a production model. the fourth chapter of thesis is dedicated to the presentation of a car manufacturing model in the cloud manufacturing space. then a mathematical programming model has been developed to optimize the composition of services provided by potential and qualified service providers in cloud manufacturing. In the fifth chapter of this research will investigate the importance of the IoT technology in the supply chain of the manufacturing industry and will be evaluated it's main concerns and challenges. In this chapter, the decision-making technique of analysis hierarchical process in a fuzzy environment (Fuzzy AHP) has been used and the challenges of use of the industrial IoT were evaluated.Ultimately, it is hoped that the results from this study will lead to insights for effective and efficient supply chain management, especially when using new concepts such as the IoT and cloud manufacturing.

Key words : Smart Supply Chain, Cloud Mnaufacturing, Industrial IoT, Fuzzy AHP

Shahrood University of Technology

Faculty of Industrial Engeenring and Management

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the M.Sc. degree

Industrial Management – Production & operations

Developing a smart supply chain based on industrial internet of things and cloud manufacturing by using multi-criteria decision making

By :

Ali Aghajani

Supervisor :

Dr. Mohammad Fattahi

Advisor :

Dr.Aliakbar Hassani

September 2019