به طور کلی، اکثر مدل بلوغ های موجود فاقد یک پایه نظری محکم هستند و/یا بر اساس یک روش طراحی دلخواه به دست آورده شده اند (مارکس و همکاران، 2012). به دلیل عدم مستندسازی روش توسعه مدل و عدم وجود اعتبار سنجی تجربی، محققان سیستم های اطلاعات چندین مدل رویه را برای طراحی مدل بلوغ پیشنهاد کرده اند (کویلن و همکاران، 2016). یک رویکرد سیستماتیک به توسعه مدل بلوغ بر اساس یک روش امکان تعمیم و استانداردسازی مدل را فراهم می کند (دی بروین و همکاران، 2005). منجر به اسناد بهبود یافته و نتایج سودآورتر از یک روش بصری می شود (Becker et al., 2009). و زمانی مفید است که مدل بلوغ عملاً مرتبط باشد (کویلن و همکاران، 2016).

بنابراین، برای ارائه یک ابزار دقیق برای ارزیابی دیجیتالی‌سازی OSCM، این تحقیق با هدف ایجاد یک صنعت نسل چهار مدل بلوغ از لحاظ نظری محکم، مبتنی بر روشهای تجربی و روش‌شناختی برای OSCM، بر اساس بکر و همکاران، انجام می‌شود. مدل رویه (2009).

بنابراین، یک مطالعه ترکیبی با ترکیب روش‌های چندگانه (کیفی و کمی) اتخاذ شد که کمتر مستعد یافته‌های مغرضانه سیستماتیک است (Tangpong، 2011)، که در پایان به اعتبارسنجی مدل منجر می‌شود.

مدل رویه بکر و همکاران (2009) شامل مراحل زیر است:

(i) تعریف مسئله و الزامات. (ii) تجزیه و تحلیل و مقایسه با مدل بلوغ های موجود. (iii) توسعه استراتژی. (IV) توسعه و اعتبار سنجی تکراری. (v) طراحی انتقال و ارزیابی مدل. (vi) اجرا؛ و (vii) ارزیابی مدل در زمینه سازمانی (مندس و همکاران، 2016). چهار مرحله اولیه بکر و همکاران. (2009) در گام اول و دوم تحقیق ما، برای طراحی OSCM صنعت نسل چهار مدل بلوغ (جزئیات در بخش 4.1)به کار گرفته شد. مرحله پنجم (انتقال و ارزیابی مدل) در مرحله سوم ما (به تفصیل در بخش 4.2) رخ می دهد، که در آن مدل سازی سیستم فازی خبره نیز وجود دارد. در نهایت، دو مرحله نهایی در مرحله چهارم (به تفصیل در بخش 5) انجام می شود. برای نشان دادن دقت روش‌شناختی، تکرارهای زمانی تحقیق در ضمیمه C، از جمله رویه‌های طراحی مدل و ارزیابی مدل توضیح داده شده است.

در ادامه هر یک از چهار مرحله ارائه شده است

مرحله 1: مقایسه مدل بلوغ های موجود

اولین گام شامل مرور ادبیات برای شناسایی فناوری‌های صنعت نسل چهار مدل بلوغ و صنعت نسل چهار با پیروی از دستورالعمل‌های مندز و همکاران بود. (2016). جستجو به رشته ارائه شده در زیر محدود می شود. جستجوی کلیدواژه در عنوان مقاله، چکیده و کلمات کلیدی در پایگاه‌های اطلاعاتی Scopus، Emerald، Springer، Taylor و Francis و ISI Web of Science انجام شد.

پژوهش انجام شده تا جولای 2018 محدود به مقالات منتشر شده در مجلات و مقالات کنفرانسی به زبان انگلیسی بود که منجر به یافتن 184 مورد شد. به عنوان معیار اولیه ، مقاله باید حاوی یک پیشنهاد برای مدل بلوغ برای صنعت نسل چهار در فیلدهای OM یا SCM باشد. سپس با تجزیه و تحلیل و غربال عناوین، کلیدواژه ها و چکیده ها به استثنای 137 مورد ، جداسازی شدند. مقالات باقی مانده به طور عمیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند

یک فرآیند تکراری طبق توصیه Thom'e و همکاران، جستجوهای "Snowball" برای مقالات اضافی (8 مقاله و 15 مقاله سفید) انجام شد. (2016). بر اساس تجزیه و تحلیل متن کامل، در مجموع 57 مقاله برای مطالعه بازیابی شد، که همه با محتوای صریح به مدل بلوغ صنعت نسل چهار برای اهداف OSCM بودند.

این مرحله شامل مقایسه مدل بلوغ های موجود و تعیین استراتژی طراحی می شود (کویلن و همکاران، 2016). برای به دست آوردن بینش عمیق تر برای تصمیم گیری استراتژی توسعه، نویسندگان یک تحلیل و مقایسه مدل بلوغ با تمرکز بر معیارهای اقتباس شده از Mettler (2009)، مارکس و همکاران انجام دادند. (2012) و نورد و همکاران. (2016)، یعنی:

دامنه، مبدأ (آکادمی یا عمل)، مؤلفه ها (توضیحات سبک، پرسشنامه یا معماری)، قابلیت اطمینان (تست نشده، تأیید شده، تأیید شده یا غیر شفاف) و عملی بودن (توصیه های عمومی یا اقدامات بهبود خاص). علاوه بر این، فناوری‌های صنعت نسل چهار باید با توجه به کارخانه مورد نظر که قرار است در آن پیاده سازی صورت بگیرد، شناسایی شود. مجموعه‌ای از عواملی که برای بهبود صنعت نسل چهار حیاتی هستند، شامل عملیات تولید و زنجیره تامین هستند که باید به صورت سیستماتیک بر اساس مدل بلوغ صنعت نسل چهار (به بخش فرعی 2.3 مراجعه کنید)، نویسندگان تصمیم گرفتند، به عنوان یک استراتژی توسعه، محتویات ناهمگن و مرتبط از مدل بلوغ های موجود را در یک مدل جدید ساختار یافته توسط ابعاد متعدد، پیاده سازی کرده و با استفاده از کنترلر فازی به آن امتیاز بدهند.

نویسندگان از یافته‌های فناوری‌های صنعت نسل چهار مدل بلوغ و صنعت نسل چهار برای توسعه مفهومی استفاده کردند که بخش پس‌زمینه نظری آن را تشریح می‌کند. تجزیه و تحلیل محتوا (Seuring و Gold، 2012) استفاده شد و یک رویکرد استقرایی (Eisenhardt، 1989) برای طبقه بندی دانش با ابزار ادبیات استفاده می­شود یکی از مهم ترین نتایج، توصیف و تحلیل مجموعه ای از عناصر (سطوح و ابعاد) و فناوری های کلیدی صنعت نسل چهار مرتبط با دیدگاه های مختلف بخش تولید بود. این تکرار یک مبنای نظری برای مطالعه تجربی فراهم کرد. سپس فهرست دسته بندی (ابعاد) استخراج شد.

مرحله 2: روش تکراری

این مرحله به طراحی مدل می پردازد که بر اساس ساختار سلسله مراتبی از دسته ها و زیرمجموعه ها است، زیرا سطوح مختلف باید هنگام اجرای OSCM در نظر گرفته شود (Cuylen et al., 2016).

بنابراین، توسعه تکراری شامل رویه‌هایی است که برای تعریف یک معماری و ساختار (به عنوان مثال، محتوا، ابعاد) برای صنعت نسل چهار مدل بلوغ برای OSCM و همچنین نوع ابزار ارزیابی استفاده می‌شود. روند این تکرارها بیشتر تجربی بودتا مفهومی و از عناصر مدل بلوغ پیشنهاد شده از اولین تکرار تا روش‌های تجربی با دانشگاهیان و متخصصان برای جمع‌آوری اطلاعات بینش‌گری و عملی مرتبط استفاده می‌کردند (Weking et al., 2019). مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته و گروه‌های متمرکز (FGs) برای جمع‌آوری داده‌ها انجام شد، این دو روش برای دریافت درک صریح مصاحبه‌شوندگان از یک پدیده مؤثر در نظر گرفته شد (Bokrantz et al., 2019). علاوه بر این، با توجه به ماهیت میان رشته ای و انقلابی موضوع، از روش های اکتشافی تجربی به عنوان گروه های متمرکز برای آوردن بینش به تحقیق صنعت نسل چهار استفاده شد (Koh et al., 2019).

ابتدا، مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با نمونه‌ای متشکل از شش نفر از دانشگاهیان (یک مهندس مکانیک، یک مهندس کامپیوتر، دو استاد تمام OM و دو مهندس تولید)، از آگوست 2018 تا سپتامبر 2018 انجام شد که همگی در دیجیتالی‌سازی و اتوماسیون صنعتی دستگاه‌ها تجربه داشتند. مصاحبه ها از 30 دقیقه تا 1.5 ساعت به طول انجامید و هدف این مصاحبه ها بررسی پیشرفت های بالقوه در صنعت نسل چهار مدل بلوغ های قبلی و افزایش ارزش مدل های موجود بود. این محققان ملاحظات و دستورالعمل های مهمی را برای پیشنهاد سطوح بلوغ و ابعاد مدل OSCM صنعت نسل چهار ارائه کردند.

سپس، شش FG، متشکل از 5 الی 6 متخصص در انجام شد که مسئولیت مدل‌سازی محاسباتی، فناوری‌های دیجیتال و بهینه‌سازی و تدارکات را برعهده داشتند، زیرا گروه‌های کانونی کوچک‌تر به مشارکت بیشتر هر عضو نیاز دارند (ترمبلی و همکاران، 2010). این جلسات بین دسامبر 2018 و ژانویه 2019 با گروهی متشکل از پانزده متخصص با حداقل 10 سال تجربه در زمینه های IT و OSCM برگزار شد.

همه آنها در یکی از مؤسسه های معروف توسعه نرم افزار فنی - علمی مقام های بالایی داشتند. کارشناسانی که مسئولیت های متفاوتی برای ارائه دیدگاه های گوناگون داشتند، عمداً انتخاب شدند (وانگ و همکاران، 2019). علاوه بر این، در هر گروه، یکی از نویسندگان به عنوان گرداننده و نویسنده دیگری به عنوان ناظر، مسئول اجتناب از دیدگاه های شخصی حضور داشت (ترمبلی و همکاران، 2010). ایده پردازی در تمام گروه های کانونی تا رسیدن به اشباع ایده ها انجام شد (کویلن و همکاران، 2016). یک FG پایلوت، چهار FG اکتشافی و یک FG تاییدی اعمال شد. تا پنجمین گروه متمرکز (FG1 - FG5)، دیدگاه‌های فردی از صنعت نسل چهار مدل بلوغ برای OSCM پوشش داده می‌شد، در حالی که دسته‌های جدید (ابعاد)، زیرمجموعه‌ها (چشم‌اندازها)، جزئیات دسته‌ها (توصیف‌کننده‌های مرتبط با محتوای مدل بلوغ) و معیارها (شاخص ها) می توانند از بحث گروهی پدیدار شوند (کویلن و همکاران، 2016). مدت زمان هر جلسه بین 60 تا 90 دقیقه بود و شامل چهار بخش برای جمع‌آوری داده‌ها بود: (1) مروری بر صنعت نسل چهار مدل بلوغ، در نظر گرفته شده برای به اشتراک گذاشتن دانش اولیه بین شرکت‌کنندگان. (2) ایده پردازی با کارشناسان در مورد تعدیل ها و بهبودها در مدل پیشنهادی،

بحث در مورد روش ها و فن آوری های کلیدی برای اجرای آن؛ (3) جلسه زوم و فیلتر - کارگاه ارائه مدل پیشنهادی و بحث در مورد عناصر آن، (4) جزئیات جلسه درخواستی، که شرح گردش کار هر بعد برای کاربرد در مطالعات آینده بود (Nascimento et al., 2018) .

علاوه بر این، گروه ارزیابی تاییدی (FG6) (Tremblay et al., 2010) با هدف بررسی یکپارچگی مدل، سازگاری و کفایت مشکل (Nord et al., 2016) بود. هدف آن تنظیم محتوای مدل مفهومی و اعتبار رده بندی شاخص های به دست آمده از مدل بلوغ پیشنهادی بود. برای تنظیم ساختار مدل بلوغ، معیارهای صلاحیت زیر در نظر گرفته شد (Gokap ¨ et al., 2017): استعداد برای هدف؛ تکمیل جنبه ها؛ دانه بندی ابعاد؛ تعریف ویژگی های اندازه گیری؛ شرح روش ارزیابی؛ و عینیت روش ارزیابی. علاوه بر این، شاخص‌ها باید معیارهای طبقه‌بندی را برآورده کنند، مانند: مختصر، قوی، جامع، قابل توسعه و توضیحی (Weking et al., 2019). این امر منجر به تغییرات کوچکی در عناصر طبقه بندی شد، مانند سازماندهی مجدد عناصر یک بعد به عناصر موجود و تغییر نام و حذف برخی از عناصر. در نهایت، زیرمجموعه‌های مدل بلوغ از طریق مرور ادبیات قیاسی، ارزیابی مجدد همگنی درونی و ناهمگنی بیرونی آنها مورد آزمایش قرار گرفتند (کویلن و همکاران، 2016). داده های نظری و تجربی جمع آوری شده مجددا بررسی و به زیرمجموعه ها اختصاص داده شد. سه نویسنده رونویسی ها را در دو فرآیند کدگذاری کردند: در کدگذاری قیاسی، دسته ها و زیرمجموعه های موجود غنی شدند، در حالی که در کدگذاری استقرایی، جدید دسته ها، زیرمجموعه ها، دسته بندی جزئیات و شاخص ها استخراج شد.

مرحله 3: پیاده سازی

با توجه به توسعه مدل بلوغ، مرحله سوم شامل این فعالیت ها می­بود: ساخت ابزار تحقیق (پرسشنامه)، مطالعه آزمایشی (مصاحبه) برای آزمایش آیتم های ابزار و تنظیم سیستم استنتاج فازی ، عملکردها و قوانین عضویت آنها. ابتدا، پیش نویس پرسشنامه بر اساس مدل بلوغ مفهومی، با یک سوال (مورد) در هر شاخص دیجیتال ساخته شد. قبل از ارسال پرسشنامه، مصاحبه‌هایی با متخصصان اتوماسیون مهندسی انجام شد تا مشکلات احتمالی در محتوا حذف شود و سوالات بهتری ارائه شود و اطمینان حاصل شود که متخصصان یک شرکت تولیدی در پاسخ به سؤالات مشکلی ندارند. پرسشنامه تنظیم شده شامل هفت سؤال در مورد مشخصات دموگرافیک پاسخ دهندگان، دو سؤال در مورد درک آنها از فناوری صنعت نسل چهار، و همچنین پانزده سؤال بود که بلوغ را به هفت بعد تقسیم می­کرد : 1) مصرف کننده. 2) لجستیک؛ 3) تامین کننده؛ 4) ادغام؛ 5) تولید، برنامه ریزی و کنترل؛ 6) کیفیت؛ و 7) نگهداری. زمان تخمینی برای تکمیل آن از 30 دقیقه تا 1 ساعت متغیر بود. پرسشنامه در https://forms.gle/DimpQnhAvFypeFzP6 موجود بود. علاوه بر این، برای مدل‌سازی ادراک کارشناسان در قضاوت‌های تصمیم‌گیری، با در نظر گرفتن عدم قطعیت و عدم دقت، یک سیستم خبره متشکل از سیستم‌های استنتاجی فازی (سیستم استنتاج فازی)

با دو عنصر کلیدی قوانین فازی و توابع عضویت طراحی شد (زاده، 1965). برای پردازش نتایج، ساخت سیستم فازی بر استنتاج فازی به سبک ممدانی تکیه داشت (ممدانی و آسیلیان، 1975)، و تنظیم آن به چهار مرحله تقسیم می‌شود: فازی‌سازی، ارزیابی قوانین، تجمع و فازی‌سازی (Corrˆea et al., 2014). بخش 4.2 مدل سازی سیستم استنتاج فازی و عناصر آن را شرح می دهد.

مرحله 4: ارزیابی

مرحله چهارم شامل یک مطالعه موردی (ووس، 2010) بود که شامل ترکیبی از دو روش جمع‌آوری داده‌ها شامل مصاحبه‌های بدون ساختار و پرسشنامه با چهار مدیر و چهار سرپرست از یک شرکت تولیدی برزیلی بود. برای افزایش قابلیت اطمینان تجزیه و تحلیل، ادراک متخصصان مدیریت ارشد از بخش‌های مختلف در نظر گرفته شد (لینز و همکاران، 2019). هدف این پرسشنامه بررسی این بود که کدام یک از فناوری‌های دیجیتالی که در مرور ادبیات فردی به کار گرفته شده‌اند، مرتبط‌تر با شرکت آن‌ها در نظر گرفته می‌شوند (لینز و همکاران، 2019)، و همچنین درک وضعیت فعلی (AS-IS) و مورد انتظار/هدف (TO-) BE) سطوح بلوغ OSCM4.0 با توجه به مشخصات شرکت. بنابراین، ترکیب روش‌های ترکیبی تعبیه‌شده در منطق مطالعه موردی از طریق داده‌های کمی و کیفی به آزمایش و اعتبارسنجی مدل کمک کرد (بیبی و ده، 2018). بخش 5.1 شرح مفصلی از واحد تجزیه و تحلیل و مشخصات نمونه پاسخ دهندگانی که در نظرسنجی شرکت کردند ارائه می کند.

در نهایت، تجزیه و تحلیل سطوح بلوغ جاری و مورد انتظار (با توجه به سطح آمادگی دیجیتالی هر شاخص اندازه گیری شده) با توجه به تجربه و دانش فعلی شرکت در مورد فناوری های مخرب صنعت نسل چهار و منافع استراتژیک آن در مورد سرمایه گذاری های احتمالی در فناوری های دیجیتال انجام شد. بر اساس سطح بلوغ یک شرکت تولیدی، دستورالعمل‌هایی نیز برای رسیدگی به ضعف‌های فن‌آوری و روش‌شناختی و افزایش ارزش افزوده در هفت بعد OSCM4.0 پیشنهاد شد که در مجموعه‌ای از اهداف همسو با مشخصات سازمان ساختار یافته است.