

استفاده از فناوری تولید افزایشی در زنجیره تامین قطعات یدکی در حوزه تجهیزات نظامی

وحید زینالی^{۱*}، سعید رمضانی^۲، حسینعلی حسن پور^۳

۱- دانشجوی دکترا مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۲- استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۳- استاد، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

چکیده

اخیرا فناوری تولید افزایشی (AM) به منظور توسعه پویایی زنجیره تامین مورد استفاده قرار گرفته است. این فناوری که به پرینت سه بعدی نیز معروف است اولین بار برای نمونه سازی سریع مورد استفاده بوده است. اما با پی بردن به مزایای این فناوری، مدیران زنجیره تامین کالا از جمله زنجیره تامین کالاهای پزشکی، هوا فضا، صنایع دفاعی و ... تصمیم به استفاده از AM برای استفاده از روش تولید سریع کرده اند. این مقاله به بررسی تاثیر فناوری AM بر روی سطح پاسخگویی، پایداری و کارایی زنجیره تامین قطعات یدکی می پردازد. این قطعات یدکی اغلب کم استفاده هستند. در این راستا با بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه هزینه های زنجیره های تامین قطعات یدکی، مرسوم و آندسته از زنجیره های تامین قطعات یدکی که فناوری AM را مورد استفاده قرار داده اند، فناوری AM عملکرد بسیار خوبی در کم کردن هزینه های زنجیره تامین، مخصوصا هزینه موجودی دارد. علاوه بر این فناوری AM نسبت به سایر روش های تولید بیشتر دوست دار محیط زیست است و در زمینه تولید و انتشار CO₂ بسیار آلاینده گی کمتری دارد. فناوری AM هم چنین محدودیت های از جمله حساس بودن ماشین های AM، تعداد قطعات تولیدی و .. دارد. با توجه به در حال توسعه بودن این فناوری و بکارگیری بیشتر این فناوری در حوزه های مختلف استفاده از AM در زنجیره تامین نسبت به سایر روش ها بسیار مفید تر است.

^۱ وحید زینالی، v.zeinali@ihu.ac.ir

کلمات کلیدی: فناوری تولید/افزایشی^۲; زنجیره تامین قطعات یدکی^۳; روش تولید سریع^۴; پرینت سه بعدی^۵

۱. مقدمه

اخیراً بزرگترین چالش زنجیره تامین نیاز به رساندن کالاهای با ارزش و خدمات به مشتریان به صورت اثربخش و کارا شده است. در زمینه زنجیره تامین قطعات یدکی، خدمات مشتری مسئول پاسخگویی به نیاز مشتریان به صورت پیوسته و با قابلیت اطمینان بالا در شرایط عملیاتی است. نگهداری، تعمیرات و عملیات ارتباط تنگاتنگی با در دسترس بودن قطعات مناسب برای زمانی که مشتری به آن نیاز دارد به صورتی که هزینه از کار افتادن کاهش پیدا کند، است. بنابراین زنجیره تامین قطعات یدکی با زنجیره تامین سایر کالاها به چند طریق متفاوت است. سطح خدمات مورد نیاز بالاتر و تاثیر کمبود قطعه از نظر مالی بسیار چشمگیر تر است. پیش بینی نیاز به قطعات بسیار دشوار و قیمت قطعات ممکن است بسیار گران باشد. پس توانایی تامین قطعات یدکی با هزینه کم و نرخ پاسخگویی بالا تبدیل به یک فرصت استراتژیک و همچنین یک چالش بزرگ برای تولید کنندگان اصلی تجهیزات و قطعات شده است [۱]. معمولاً، شرکت ها باید سرمایه گذاری سنگینی در زنجیره تامین قطعات یدکی به منظور دستیابی به نرخ بالایی در برآورده کردن نیاز مشتریان قابلیت اطمینان انجام دهند. نیاز به نگهداری میزان موجودی قطعات نسبتاً زیاد نزدیک به موقعیت مصرف کنندگان منجر به مسائلی از قبیل افزایش هزینه های انبار و منسوخی کالا و... شده است. طی دهه های گذشته استفاده از تکنولوژی های پیشرفته در حوزه ICT از قبیل تکنولوژی تولید افزایشی در این زمینه به شرکت ها کمک کرده است. حالا پیدایش تکنولوژی AM باعث پویایی در تولید قطعات یدکی به منظور پاسخگویی به تقاضا ها در زنجیره تامین قطعات یدکی شده است.

AM یکی از انواع تکنولوژی های نمونه سازی سریع است. AM دهه هاست که در بخش های مختلف صنعت از جمله صنعت تولید محصولات، کالاهای مصرفی، اتومبیل سازی، هوافضا و... کاربرد دارد. این تکنولوژی در واقع برپایه اصول ساخت لایه ای به وسیله تبدیل داده های سه بعدی به نمونه فیزیکی بنیان شده است و میتواند قطعاتی که به صورت عملکردی یکپارچه هستند در تعداد محدود در یک مرحله تولید کند. بنابراین این تکنولوژی برای تولید محصولاتی که دارای ساختار پیچیده و عدم قطعیت تقاضا هستند در تعداد کم مورد استفاده قرار می گیرد. در زنجیره تامینی که از تکنولوژی AM استفاده می کند دیگر نیازی به انتقال محصول تولید شده به توزیع کننده یا خرده فروش نیست. در عوض می توان بلافاصله بعد از آمدن تقاضا محصول را در نزدیکی مشتری تولید و ارسال کرد. مهمترین تاثیری که استفاده از این تکنولوژی در زنجیره تعمیر قطعات یدکی دارد کاهش نیاز به انبار کردن، حمل و نقل و بسته بندی است. با توجه به ویژگی هایی که زنجیره تامین قطعات یدکی دارد استفاده از تکنولوژی AM می تواند تاثیر بسزایی در عمل کرد زنجیره تامین قطعات یدکی داشته باشد.

۲. مرور ادبیات

۲-۱ فناوری AM

AM، تولید مستقیم یا پرینت سه بعدی، تکنولوژی دیجیتالی برای تولید اشیای فیزیکی به صورت لایه به لایه از روی یک فایل طراحی سه بعدی کامپیوتری (Computer Aided Design) به جای تولید از طریق قالب گیری و برش است.

² Additive Manufacturing

³ Spare Part Supply Chain

⁴ Rapid Manufacturing

⁵ Three Dimentional Printing

فرآیند تولید در AM با اسکن کردن یک شی برای تولید طرح سه بعدی CAD به همراه جزئیات و ابعاد دقیق آن شی شروع می شود. مرحله بعد، خروجی مرحله اسکن به یک فایل سه بعدی CAD به فرمت STL قابل استفاده برای ماشین پرینت AM است، در آورده می شود. هر قطعه از فایل STL نشان دهنده یک بخش دو بعدی (لایه) از شی برای تولید است. لایه های دو بعدی، در هر بار یک لایه، ماشین پرینت ارسال می شود. ماشین، شی را به صورت لایه ای بر روی لایه دیگر، با استفاده از روش های مختلف انجماد مرتبط با مواد اولیه عنوان شده در روش تولید، میسازد. فرآیند تولید می تواند از چند ساعت تا حتی چند روز بسته به دقت مورد نظر در ابعاد و اندازه خود محصول طول بکشد [۲].

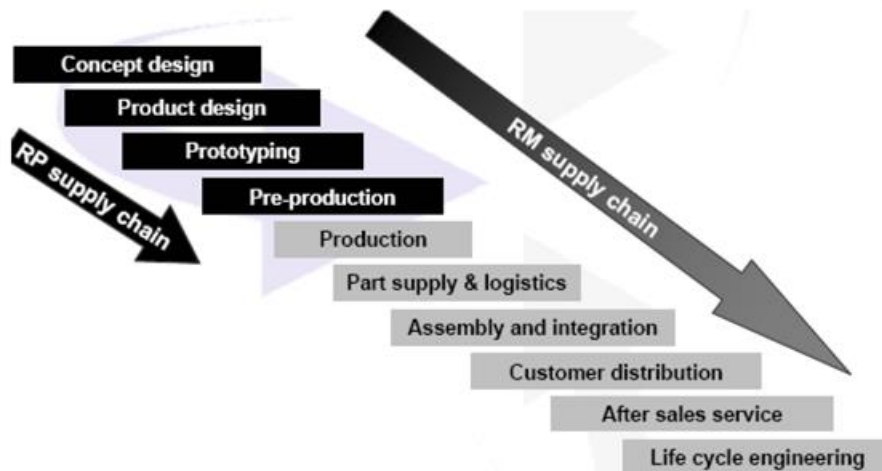
AM اولین بار در سال ۱۹۸۰ میلادی در آمریکا اختراع و برای تولید یک نمونه آزمایشی فیزیکی از محصولات مورد استفاده قرار گرفت. از آن زمان تا کنون تکنولوژی AM همگام با سایر فناوری ها از جمله، فناوری اطلاعات فناوری تولید و ظهور مواد خام جدید تکامل یافته است. بیشتر تکنولوژی های مورد استفاده در AM، از قبیل فرایند جوشکاری لیزری، جوشکاری مستقیم لیزر، مدل سازی رسوب ذوب شده، استریولیتوگرافی، تولید اشیا روکش شده و چاپ زیستی جوهر افشان، توسعه یافته اند. در تمامی موارد اشیا در آن واحد در حال شکل گیری در یک لایه هستند (هر لایه بر روی لایه قبلی)، تا محصول نهایی کامل شود. پس از دهه ها توسعه و تکامل، اکنون AM می تواند اشیایی با استفاده از مواد خام مختلف از جمله پلاستیک، آهن، سرامیک، شیشه، کاغذ و حتی با سلول های زیستی تولید کند. مواد اولیه که بیان شد می توانند به صورت پودر، مایع، ورقه و یا حتی رشته مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این محصولات قابل تولید توسط تکنولوژی AM که هر روزه در حال افزایش هستند دارای دقت و کیفیت عالی برای به کارگیری به عنوان قطعه نهایی کاربردی برای کاربردهای خاص مثل کانالهای خنک کننده هوا برای هواپیماها یا سمعک و تجهیزات پروتزی هستند. بنابراین دیگر فقط برای تولید نمونه های آزمایشی مورد استفاده نیست. با توجه به فرضیه 'انقلاب صنعتی بعدی' فناوری AM با توسعه های سریع و ظرفیت های ذاتی اش توانایی بالقوه برای ایجاد انقلاب در فرایندهای تولید و زنجیره های تامین را دارد. خصوصیات فناوری AM این توانایی را به تولید کننده ها برای تولید قطعه در هر تعداد، هر زمان که بخواهند و هر کجا که لازم باشد، می دهد. بنابراین توسعه پیوسته AM این فرصت را به مدیران صنایع برای تغییر فرآیند تولید و پیکربندی زنجیره تامین شان می دهد.

۲-۲ فناوری AM و تاثیر آن بر روی یک زنجیره تامین قطعات یدکی

AM می تواند تاثیر بالقوه چشمگیری بر روی پیکربندی مرسوم زنجیره های تامین صنایع مختلف از زنجیره تامین سمعک تا صنایع هوافضا دارد. چون AM روشی برای کاهش تعداد مراحل زنجیره های تامین مرسوم ارائه می دهد، تاثیر آن بر روی این زنجیره های تامین می تواند پیچیده باشد. در این مورد AM نه تنها می تواند بر روی روش شناسی های کنونی موثر باشد بلکه می تواند بر بخش های تشکیل دهنده زنجیره تامین اثر بگذارد. در این راستا محققان به معرفی فناوری AM در زنجیره تامین از دیدگاه های مختلف پرداخته اند. برخی از این محققین به بررسی زنجیره تامین قطعات یدکی و مطالعه استفاده از فناوری AM در این باره پرداخته اند. مدیریت زنجیره تامین قطعات یدکی سعی در کم کردن هزینه های اجرایی دارد در حالی که رضایت مشتری در یک سطح قابل قبول باقی بماند. بدین منظور تامین کننده ها باید بر غیرقابل پیش بینی بودن تقاضا فائق بیایند و در مورد نقطه سر به سری هزینه اجرایی، سطح موجودی و زمان تحویل تصمیم گیری کنند. این چالش ها ارائه خدمات در سطح بالا با هزینه کم برای مدیران زنجیره تامین قطعات یدکی را مشکل کرده است [۳، ۴]. هرچند فناوری AM توانایی بالقوه برای پاسخگویی به این چالش ها را دارد اما یک زنجیره تامین کاملاً کاربردی بر مبنای فناوری AM در صنایع تولید قطعات یدکی در دسترس نمی باشد. حسن و رنی در پژوهش خود یک مدل کسب و کار به منظور توانمندسازی یک زنجیره تامین که خدمات مختلفی بر پایه تجارت الکترونیک ارائه می دهند، توسعه داده اند. فناوری تولید سریع^۶ در واقع روش تولید مستقیم قطعه با استفاده از فناوری AM است. آنها در این مقاله فرصت های بوجود آمده در

^۶ Rapid Manufacturing

زمینه استفاده از تکنولوژی های تولید سریع در حوزه ی زنجیره تامین قطعات یدکی مورد تحقیق و بررسی قرار داده اند. در این مقاله تفاوت بین فناوری تولید سریع که تکامل یافته فناوری نمونه سازی سریع^۷ است، با خود فناوری نمونه سازی سریع بیان شده و فناوری تولید سریع را متفاوت با روش های تولید مرسوم دانسته شده است. [۵]. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده زنجیره تامین RM بسیار عمیق تر از زنجیره تامین RP است.



شکل ۱. تفاوت زنجیره تامین RP و RM

هولم استروم و خاجوی در مقاله ای به گزارشی از سیستم تامین دپارتمان دفاع امریکا که در آن مشکل اصلی در عدم انجام کارها را نبود تعداد و ترکیب مناسب قطعات عنوان شده، اشاره کرده اند که علت آن مشکل در زنجیره تامین قطعات یدکی است. آنها در این مقاله استفاده از فناوری AM را در حل این مشکل مورد بررسی قرار داده اند و دو رویکرد به منظور یکپارچه سازی فناوری AM در زنجیره تامین قطعات یدکی را تشریح کرده است. رویکرد اول استفاده از ظرفیت متمرکز شده فناوری AM برای جایگزینی نگهداری موجودی است. ماشین های AM در مراکز توزیع متمرکز سازی شده به منظور تولید قطعات کم مصرف به کار گیری می شود. این رویکرد برای زمانی مناسب است که تعداد قطعات مورد نیاز محدود و زمان پاسخگویی مرتبط با آن حیاتی نیست. رویکرد دوم استفاده از AM در مراکز پراکنده ارائه خدمات است. این رویکرد برای زمانی مناسب است که قطعات قابل تولید توسط AM دارای تقاضا تا حد قابل قبولی زیاد به منظور قابل توجه بودن سرمایه گذاری باشند. مزایای استفاده از این رویکردها حذف نگهداری موجودی، کم کردن هزینه حمل و نقل و زمان پاسخگویی سریع هستند [۶]. علاوه بر این لیو و هانگ به ارزیابی تاثیرات فناوری AM در زنجیره تامین قطعات هواپیما پرداخته است. آنها سه سناریوی زنجیره تامین را مورد بررسی قرار داده اند. زنجیره تامین مرسوم، زنجیره تامین AM متمرکز سازی شده و زنجیره تامین AM توزیع شده. عناصر تاثیر گذار در این سناریوها ویژگی های تقاضا، زمان شروع و پایان تولید، زمان شروع و پایان لجستیکی و سطح بالای خدمات چرخه (Cycle Service Level) هستند. آنها در این مقاله نشان داده اند که استفاده از فناوری AM فرصت های متنوعی به منظور کاهش ذخیره اطمینان مورد نیاز برای قطعات یدکی هواپیما در زنجیره تامین ایجاد می کند [۴].

قادجه و همکاران پژوهشی با عنوان تاثیر فناوری AM در زنجیره تامین قطعات یدکی ارائه کرده است. آنها هدف از این پژوهش را ارزیابی تاثیرات استفاده از فناوری AM در زنجیره تامین هواپیما بیان کرده اند. این پژوهش نیز پیشرفت چشمگیر در کارایی زنجیره تامین را گزارش کرده است و سرمایه گذاری در زمینه استفاده از فناوری AM را مطلوب دانسته

⁷ Rapid Prototyping

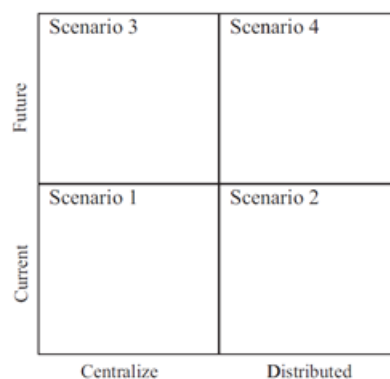
است زیرا به عقیده آنها فناوری AM در کاهش سطح موجودی اطمینان و افزایش سطح پاسخگویی در حالیکه انقطاع در فرآیند و انتشار گاز CO₂ کاهش می یابد، بسیار موثر واقع شده است [۳].

زنجیره تامین نظامی دارای دو کارکرد ضروری، نگهداری تعمیرات و حمل و نقل، است. برای ارزیابی این دو کارکرد از دو عملکرد، زمان پاسخگویی و اثربخشی نظامی، استفاده می شود. زمان پاسخگویی در واقع توانایی پاسخگویی سریع زنجیره تامین نظامی به نیازهای پایگاه‌های نظامی است. اثربخشی نظامی توانایی زنجیره تامین نظامی در تحویل به موقع محصول یا قطعه خواسته شده است. درواقع زمان پاسخگویی به اعلام نیازهای واحد‌های نظامی توسط زنجیره تامین یکپارچه نظامی جزو مهم ترین عملکردهای زنجیره تامین نظامی است [۷]. فناوری AM در زنجیره تامین قطعات یدکی نظامی می تواند به دو صورت متمرکز^۸ و پراکنده^۹ مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از فناوری AM در زنجیره تامین قطعات یدکی متمرکز برای آن دسته از قطعات یدکی مناسب است که دارای میانگین تقاضای پایین و زمان تولید بالا و در تعداد کم هستند. اما اگر قطعه‌های یدکی متنوع با تقاضای غیر قابل پیش بینی و کم و همچنین زمان تولید کوتاه باشد در این صورت بهتر است از فناوری AM در زنجیره تامین پراکنده استفاده شود. تولید قطعات یدکی با استفاده از زنجیره تامین پراکنده در نقاط دور افتاده و ایزوله هزینه‌های عملیاتی زنجیره تامین را کاهش و در عین حال در دسترسی سیستم را افزایش می دهد. و در این حالت مخصوصاً در حالتی که تجهیزات نظامی در شرایط ایزوله نگهداری می شوند استفاده از فناوری AM بسیار با ارزش است. علاوه بر این از آنجا که در ارتش موجودی قطعات یدکی نگهداری می شود، بعضی از این قطعات بلا استفاده و در نهایت منسوخ می شوند. یکی دیگر از مزایای استفاده از فناوری AM تولید بر اساس تقاضا است. در این صورت می توان موجودی قطعات می مصرف را کاهش و ریسک ناشی از منسوخ شدن قطعات یدکی را کاهش یا حتی حذف کرد [۲].

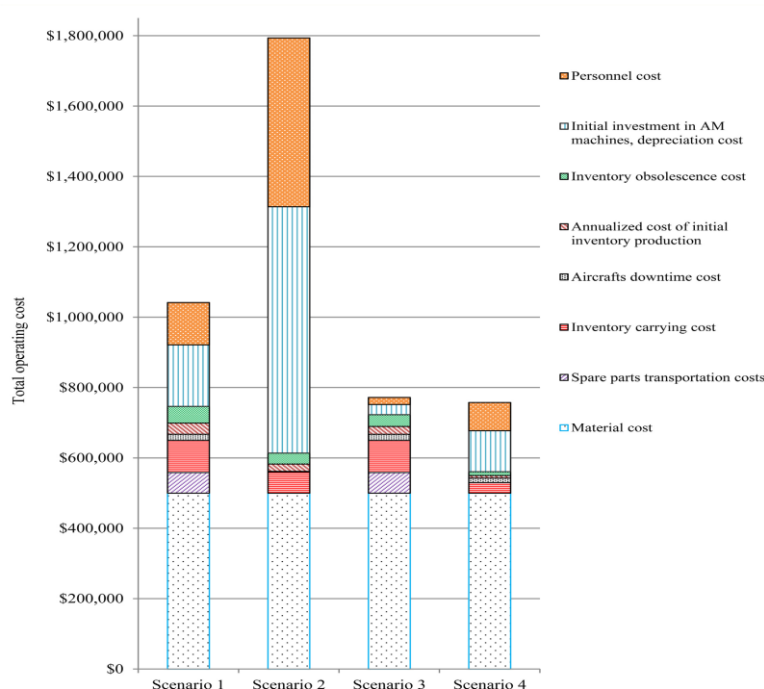
خاجوی و همکاران در مقاله‌ای تاثیر توسعه فناوری AM در پیکربندی زنجیره تامین قطعات یدکی از طریق مدل سازی سناریو ها برای زنجیره تامین قطعات یدکی هواپیمای جت جنگنده F-۱۸ سوپر هورنت مورد ارزیابی قرار داده اند. در این مقاله چهار سناریو که در دو بعد شبیه سازی شده اند مورد استفاده قرار گرفته است. همانطور که در شکل دو مشاهده می شود، بعد اول پیکربندی زنجیره تامین و بعد دوم توسعه فناوری مورد استفاده برای ماشین های AM است. هزینه اجرایی هر چهار سناریو در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. این هزینه شامل: کارکنان، مواد خام، حمل و نقل، جابجایی موجودی، زمان از کار افتادگی هواپیما، منسوخ شدن موجودی، استهلاک سرمایه برای خرید ماشین AM و هزینه سالیانه برای تولید موجودی اولیه است. در این تحقیق پس از قرار دادن نرخ خرابی ۱۰٪ برای یکی از قطعات جنگنده F-18 سوپر هورنت از شبیه سازی مونت کارلو برای تعیین احتمال کمبود موجودی استفاده شده است. هزینه اجرایی سناریو ها در شکل ۳ نشان داده شده است. آنها دریافتند که با استفاده از فناوری AM، تولید متمرکز به وضوح پیکربندی ارجح زنجیره تامین است. اما تولید قطعات به صورت غیر متمرکز یا همان پراکنده قابل اجرا است در صورتی که ماشین های AM کمتر سرمایه بر باشند و چرخه تولید کوتاه تری را ارائه دهد [۸].

^۸ Centralized

^۹ Distributed



شکل ۲. سناریو های بررسی هزینه های اجرایی



شکل ۳. مقایسه هزینه اجرایی در سناریو های مختلف

کاستیدی و نیکتاکاس تحقیقی برای دست یابی به مزایای استفاده از فناوری AM در زنجیره تامین قطعات یدکی کشتی ها در حوزه نیروی دریایی امریکا انجام داده است. آنها پس از بررسی ادبیات موضوع و نتایج مقالات ارایه شده در زمینه بکارگیری فناوری AM در تامین قطعات به این نتیجه رسیدند که استفاده از AM موجودی قطعات کم استفاده را کاسته و همزمان سطح خدمت مشتری را افزایش می دهد. به علت انجام تعمیرات دوره ای کلی در نیروی دریایی این فرصت برای استفاده از دستگاه پرینت سه بعدی مهیا است. نتیجه استفاده از این فناوری با استفاده از مصاحبه با افرادی که از این فناوری استفاده کرده اند مورد ارزیابی قرار گرفت که تقریباً همه از بکارگیری فناوری AM راضی بودند و تقریباً هیچ نظر منفی در بین کارکنان دیده نشد. از مزایای استفاده از AM انعطاف در تولید قطعات در تعداد حدود است. AM می تواند با استفاده از یک طرح سه بعدی کامپیوتری و وارد کردن مواد خام در دستگاه دور زدن مرحله مثل مونتاژ و بسته بندی

محصل نهایی را تولید کند که بسیار مورد پسند کارکنان در بخش تامین قطعات یدکی است. بدین صورت می توان تامین قطعات در نقاط دور افتاده را در زمان کمتری ممکن کرد [۹].

۲-۳ چالش های استفاده از فناوری AM

هزینه های استفاده از فناوری AM را می توان یکی از موانع استفاده آن دانست. تدارکات، نگهداری و استهلاک از جمله موارد مهمی هستند که بر هزینه های ماشین های AM اثر گذار هستند. زمان استهلاک ماشینی که یک واحد صنعتی برای تولید قطعه استفاده می کند ممکن است حدود ۱۰ سال هم باشد. این در حالی است که ماشین های AM در طول سه سال مستهلک می شوند. همچنین هزینه نگهداری و تعمیرات ماشینهای AM بسیار بیشتر است روش های تولید مرسوم است. در کل ماشین های AM بسیار حساس و آسیب پذیر هستند و به راحتی خسارت دیده و از کار می افتند. این حساس بودن و آسیب پذیری در زمان نیاز سریع به قطعات حساس بیشتر به چشم می آید و میتواند حتی در از دست رفتن جان نیروها بسیار تاثیر گذار باشد که در این صورت هزینه تلفات انسانی رانیز می توان به هزینه های استفاده از فناوری AM اضافه کرد. یکی دیگر از محدودیت های فناوری AM رامی توان عدم توانایی در ترکیب چند ماده اولیه عنوان کرد. تولید قطعات ساخته شده از چند ماده اولیه برای مصارف دفاعی بسیار با اهمیت است. علاوه بر این در صورت استفاده از فناوری AM توان بازیافت مواد اولیه از قطعات از کار افتاده وجود ندارد. بنابراین استفاده از مواد اولیه خام در فناوری AM زیاد است و همچنین امکان بازیافت خط و دوباره استفاده از مواد اولیه را نیز از دست می دهد [۲، ۹، ۱۰].

۲-۴ شکاف تحقیقاتی در ادبیات موضوع

در بالا تعدادی از پژوهشهایی که کاربرد فناوری AM در حوزه زنجیره تامین قطعات یدکی اجرا شده بودند، معرفی شد. هرچند به علت اینکه فناوری AM پیوسته در حال تکامل است نتایج پژوهش ها باید به صورت دوره ای مورد بررسی دوباره قرار گیرند و یک فرایند مرحله به مرحله برای مشخص کردن عملکرد مناسب AM مورد استفاده قرار گیرد. هانگ لیو و همکاران در مقالاتی نشان داده اند که AM می تواند دارای مفاهیم بسیار زیادی در زنجیره تامین قطعات یدکی باشد. زیرا AM به خاطر مشخصات متمایزی که دارد، فرصت تولید قطعات یدکی بر اساس تقاضا و کاهش تعداد مراحل زنجیره تامین را ایجاد می کند. بنابراین این فناوری روند رسیدگی به چالش های سر به سری هزینه های اجرایی، سطح موجودی و زمان تحویل در زنجیره تامین قطعات یدکی را تسهیل می نماید [۴، ۱۱]. بیشتر این تحقیقات تنها به این موضوع اشاره کردند که زنجیره تامین قطعات یدکی که از فناوری AM بهره می برد عملکرد بهتری نسبت به زنجیره تامین قطعات یدکی مرسوم دارد.

مقالات متعددی به مقایسه هزینه استفاده از AM در زنجیره های تامین و آن دسته از زنجیره های تامین مرسوم پرداخته اند [۱۲، ۱۳]. هزینه موجودی، هزینه پردازش، هزینه حمل و نقل و برخی هزینه های تجاری در این مقالات مورد بررسی قرار گرفته اند. بر اساس آنچه از این مقالات ت می آید می توان هزینه های دوره تامین قطعات یدکی بر پایه فناوری AM را در چهار دسته تقسیم بندی کرد:

- هزینه حمل و نقل
- هزینه تولید
- هزینه های اجرایی
- هزینه های موجودی

لیو و همکاران در مقاله‌ای به مقایسه بین زنجیره تامین مرسوم و زنجیره تامین قطعات یدکی هواپیما بر پایه فناوری AM پرداخته است. با این حال این مقاله تنها به مقایسه ذخیره اطمینان موجودی در این دو زنجیره تامین پرداخته است [۴].

همانطور که فناوری AM در حال توسعه و تکامل است مقایسه بین دو زنجیره تامین قطعات یدکی مرسوم و زنجیره تامین قطعات یدکی بر پایه فناوری AM مخصوصاً مقایسه هزینه ها ضروری است. هزینه معمولاً کلیدی ترین عنصر در تصمیم گیری ها است. بیشتر مقایسه هایی که در تحقیقات تا به امروز صورت گرفته درباره تولید تک محصول بوده است و آن دسته از مقایسه هایی که در مورد مونتاژ محصولات بودند توجهی به دیگر بخش های زنجیره تامین از قبیل هزینه موجودی و حمل و نقل نداشتند. برای پر کردن شکاف تحقیقاتی در این زمینه بسیار مهم است که زنجیره تامین قطعات یدکی بر پایه فناوری AM با یک زنجیره تامین قطعات یدکی مرسوم مورد مقایسه قرار گیرند.

علاوه بر تمام مطالبی که تا اینجا در مورد فناوری AM بیان شد، از دیدگاه تاثیر بر محیط پیرامون، این فناوری نسبت به سایر فناوری های تولید مرسوم با توجه به کاهش اتلاف، کاهش مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای، بیشتر دوست دار محیط زیست است [۱۰، ۱۴]. اما با این حال برخی از پژوهش ها نشان می‌دهد که فناوری AM می تواند تحت شرایطی بسیار انرژی بر باشد. بنابراین ما همچنین نیاز داریم که زنجیره تامین قطعات یدکی بر پایه فناوری AM زنجیره تامین قطعات یدکی مرسوم را در زمینه تولید گازهای گلخانه ای بی مورد مقایسه قرار دهیم.

جدول ۱. تفاوت زنجیره تامین مرسوم و زنجیره تامین برپایه AM

روش تولید	زنجیره تامین مرسوم	زنجیره تامین برپایه AM
پیکربندی	تامین کننده-تولید کننده-توزیع کننده-مرکز خدمات	تولید افزایشی-ماشین های AM ساختار متمرکز: تامین کننده-توزیع کننده(تولید کننده)-مرکز خدمات ساختار غیرمتمرکز: تامین کننده - مرکز خدمات
مسئولیت اعضای زنجیره تامین	تامین کننده: تامین مواد اولیه تولید کننده: تولید و نگهداری موجودی توزیع کننده: توزیع و نگهداری موجودی	تامین کننده: تامین مواد اولیه و فایل طراحی کامپیوتری توزیع کننده(تولید کننده)/توزیع کننده: تولید و توزیع براساس تقاضا و نگهداری موجودی

۳- نتیجه گیری

این پژوهش به بررسی ادبیات موضوع در زمینه استفاده از فناوری های نوین در زنجیره تامین قطعات یدکی با نگاه ویژه به صنایع دفاعی و نظامی کرده است. فناوری AM یا پرینت سه بعدی جزو فناوری های نوین است که در زنجیره های تامین قطعات یدکی کورد استفاده قرار می گیرد. این فناوری ابتدا به منظور تولید نمونه های از محصول اصلی مورد استفاده قرار می گرفت. با گذشت زمان و توسعه فناوری پرینت سه بعدی امروزه شاهد تولید محصول نهایی توسط این فناوری در حوزه های مختلف هستیم. صنایع نظامی جزو اولین دسته از تولید کنندگان قطعات یدکی هستند که از این فناوری استفاده کرده اند. نیاز به پاسخگویی سریع به تقاضای قطعه و پایداری سیستم تامین قطعه در در حوزه نظامی دلیل استفاده از این فناوری هستند. با توجه به مزایا و محدودیت های عنوان شده در این مقاله و این که این فناوری هنوز در حال توسعه و بلوغ است، هم چنان استفاده از فناوری AM به علت تاثیر زیاد در کاهش هزینه موجودی قطعات یدکی کم استفاده و قابلیت بکارگیری در مناطق دور افتاده و ایزوله و هزینه کارکنان و ... بسیار مفید است.

۴- مراجع

- [1] Q. Hu, J. E. Boylan, H. Chen, and A. J. E. J. o. O. R. Labib, "OR in spare parts management: A review," vol. 266, no. 2, pp. 395-414, 2018.
- [2] J. den Boer, W. Lambrechts, and H. J. J. o. C. P. Krikke, "Additive manufacturing in military and humanitarian missions: Advantages and challenges in the spare parts supply chain," vol. 257, p. 120301, 2020.
- [3] A. Ghadge, G. Karantoni, A. Chaudhuri, and A. J. J. o. M. T. M. Srinivasan, "Impact of additive manufacturing on aircraft supply chain performance: A system dynamics approach," 2018.
- [4] P. Liu, S. H. Huang, A. Mokasdar, H. Zhou, L. J. P. P. Hou, and Control, "The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis," vol. 25, no. 13-14, pp. 1169-1181, 2014.
- [5] S. Hasan and A. Rennie, "The application of rapid manufacturing technologies in the spare parts industry," 2008.
- [6] S. H. Khajavi, J. Holmström, and J. J. R. P. J. Partanen, "Additive manufacturing in the spare parts supply chain: Hub configuration and technology maturity," 2018.
- [7] D. Tsadikovich, E. Levner, H. Tell, and F. J. I. J. o. P. R. Werner, "Integrated demand-responsive scheduling of maintenance and transportation operations in military supply chains," vol. 54, no. 19, pp. 5798-5810, 2016.
- [8] S. H. Khajavi, J. Partanen, and J. J. C. i. i. Holmström, "Additive manufacturing in the spare parts supply chain," vol. 65, no. 1, pp. 50-63, 2014.
- [9] E. Kostidi and N. J. S. o. S. T. Nikitakos, "Exploring the potential of 3D printing of the spare parts supply chain in the maritime industry," pp. 171-178, 2017.
- [10] T. Campbell, C. Williams, O. Ivanova, B. J. T. Garrett, Potential,, and A. C. Implications of Additive Manufacturing, Washington, DC, "Could 3D printing change the world," vol. 3, 2011.
- [11] S. H. Huang, P. Liu, A. Mokasdar, and L. J. T. I. J. o. A. M. T. Hou, "Additive manufacturing and its societal impact: a literature review," vol. 67, no. 5, pp. 1191-1203, 2013.
- [12] E. Atzeni and A. J. T. I. J. o. A. M. T. Salmi, "Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts," vol. 62, no. 9-12, pp. 1147-1155, 2012.
- [13] D. J. T. I. J. o. A. M. T. Thomas, "Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective," vol. 85, no. 5, pp. 1857-1876, 2016.
- [14] N. Serres, D. Tidu, S. Sankare, and F. J. J. o. C. P. Hlawka, "Environmental comparison of MESO-CLAD® process and conventional machining implementing life cycle assessment," vol. 19, no. 9-10, pp. 1117-1124, 2011.

