

چشم‌انداز آینده صنعت مُد با به‌کارگیری فناوری تولید افزایشی (چاپ سه‌بعدی)^۱

اعظم افتخاری^۲

علی اندجی گرمارودی^۳

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵

چکیده

حدود ربع قرن است که محققان به فناوری تولید افزایشی یا معادل عمومی‌تر آن فناوری چاپ سه‌بعدی دست یافته‌اند. استفاده از چاپ سه‌بعدی در تعدادی از صنایع، از جمله صنعت مُد، در حال گسترش است. این روش در صنعت مُد برای ایجاد نمونه‌های اولیه، محصول نهایی و هم‌چنین، برای تهیه محصولات سفارشی مورد استفاده قرار می‌گیرد و تعدادی از مزایای آن در مقایسه با فرایندهای تولید سنتی شامل فرایند طراحی سریع، زمان تولید کم‌تر و هزینه‌های پایین‌تر مربوط به گرفتن فهرست موجودی، انبارداری، بسته‌بندی و حمل و نقل است. پرسشی که این پژوهش در راستای پاسخ‌گویی بدان پیش می‌رود، این است: فناوری چاپ سه‌بعدی در صنعت مُد چگونه به کار گرفته می‌شود؟ به نظر می‌رسد، قابلیت‌های فناوری چاپ سه‌بعدی می‌تواند به طراحان جهت تولید طرح‌های متنوع و سفارشی‌سازی محصول با مواد و ساختارهای مختلف، کمک کند. امکاناتی که نرم‌افزارهای سه‌بعدی در اختیار طراحان قرار می‌دهند، به خلاقیت بیش‌تر آن‌ها می‌انجامد. هدف از این پژوهش که در زمره پژوهش‌های توسعه‌ای قرار دارد و با بهره‌گیری از مطالعات اسنادی و با روش تجزیه و تحلیل کیفی فراهم آمده، مطالعه ویژگی‌های فناوری چاپ سه‌بعدی و کاربردهای آن در صنعت مُد است که به طراحان یاری می‌رساند؛ تا طرح‌های متنوع و سفارشی را با مواد و ساختارهای مختلف تولید نمایند. نظر به این که استفاده از چاپ سه‌بعدی در صنعت مُد یک موضوع نوظهور برای بحث است، نتایج حاصل از پژوهش حاضر معرفی تعدادی از روش‌های چاپ سه‌بعدی خواهد بود که در این صنعت کاربرد بیش‌تری دارند؛ هم‌چنین، پیش‌بینی می‌شود تلاش‌های متنوع‌تری برای استفاده از فناوری چاپ سه‌بعدی، به خصوص، در جهت ارتقای خواص پایداری زیستی مواد و ویژگی‌های آن در صنعت مُد دنبال شود.

واژه‌های کلیدی: صنعت مُد، طراحی لباس، فناوری، تولید افزایشی (چاپ سه‌بعدی)

1-DOI: 10.22051/jzh.2021.30432.1491

۲- کارشناس ارشد طراحی پارچه و لباس، موسسه آموزش عالی معماری و هنر پارس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

mahsaeftekhari@gmail.com

۳- استادیار گروه معماری، موسسه آموزش عالی معماری و هنر پارس، تهران، ایران aliandaji@gmail.com

در راستای پاسخ‌گویی بدان پیش می‌رود، مبنی بر این است که: چگونه فناوری چاپ سه‌بعدی در صنعت مُد به کار گرفته می‌شود؟ به نظر می‌رسد، قابلیت‌های فناوری چاپ سه‌بعدی می‌تواند به طراحان جهت تولید طرح‌ها و سفارشی‌سازی محصول با مواد و ساختارهای مختلف، کمک کند و امکاناتی که نرم‌افزارهای سه‌بعدی در اختیار طراحان قرار می‌دهد به خلاقیت بیش‌تر آن‌ها می‌انجامد. هم‌چنین، باید خاطر نشان ساخت که ویژگی‌های زیست محیطی این فناوری بر اهمیت ارتقای دانش در مورد آن افزوده است. به همین علت معرفی و تشریح فناوری چاپ سه‌بعدی و دانستن معایب و مزایای این فناوری امری مهم و ضروری است. آن‌چه به دنبال می‌آید، ابتدا، به معرفی چاپ سه‌بعدی در صنعت مُد می‌پردازد؛ در ادامه، فرایندهای چاپ سه‌بعدی و مواد به کار رفته در آن مورد مطالعه قرار گرفته و نمونه‌هایی از فناوری‌های چاپ سه‌بعدی در صنعت مُد معرفی می‌شود و در پایان، نگاهی به ویژگی‌های چاپ سه‌بعدی در راستای مُد پایدار خواهد شد.

پیشینه پژوهش

پیشینه این پژوهش در دو بخش فارسی زبان و انگلیسی زبان مورد مطالعه قرار گرفته است: در پژوهش «زیست-پایداری در صنعت مد با استفاده از تکنولوژی چاپ سه‌بعدی» نوشته نسترن کاویانی (۱۳۹۸)، به معرفی ویژگی‌های چاپ سه‌بعدی در راستای زیست‌پایداری این صنعت پرداخته شده است و نتایج یافته‌ها نشان می‌دهد که چاپ سه‌بعدی در بسیاری از موارد می‌تواند در فرایندهای مختلف صنعت مُد نتایج زیست‌پایداری به دنبال داشته باشد. در مقاله «مقایسه فیلامنت PLA و ABS، کدام‌یک برای چاپ سه‌بعدی مناسب‌تر است؟» نوشته مجتبی حسینی (۱۳۹۶)، به بررسی ویژگی‌های فیلامنت‌های PLA و ABS به لحاظ خواص زیستی، دقت قطعه، استحکام، پرداخت سطح و سایر ویژگی‌ها پرداخته شده است؛ که نشان می‌دهد، فیلامنت PLA در بسیاری از جهات نظیر خواص زیستی تجدیدپذیر، دمای چاپ پایین‌تر، ظرافت و براقیت بالاتر و نظایر آن از فیلامنت ABS مناسب‌تر است.

مقاله «نقش فناوری تولید افزودنی در دست‌یابی به مد پایدار» به نگارش فریناز فربود و منصوره نیکوکار (۱۳۹۴)، اهداف توسعه پایدار تولید افزایشی را در سه بُعد «اقتصادی» با کاهش تولید، «زیست محیطی» با کاهش انرژی و ماده مصرفی و «اجتماعی» با تغییر نگرش به مُد، مورد بررسی قرار داده و نشان می‌دهد، تولید افزایشی قادر است با تغییر ساختار

فناوری تولید افزایشی^۱ یا چاپ سه‌بعدی را می‌توان با انقلاب صنعتی مقایسه کرد که برای همیشه آینده تولید را تغییر داد. این فناوری، فرایندی است که در آن قطعات را با گذاشتن مواد به صورت لایه‌های متوالی بر روی هم می‌سازند؛ تا زمانی که محصول تکمیل شود (Cuzella, 2015: 389). برای تبدیل یک طراحی دوبعدی به یک محصول سه‌بعدی، نرم‌افزارهای طراحی سه‌بعدی کُد^۲ برای ایجاد طرح اولیه استفاده می‌شود (Vanderploeg et al., 2017: 9). این روش در صنعت مُد برای ایجاد نمونه‌های اولیه، لباس‌های اوت کوتور^۳ و هم‌چنین، برای تهیه محصولات سفارشی مورد استفاده قرار می‌گیرد که یک تجربه تعاملی را میان طراحان و مخاطبان فراهم می‌نماید (Melnikova et al., 2014: 7). به‌علاوه، چاپ سه‌بعدی می‌تواند تاثیر زیادی بر زنجیره تامین محصولات به شیوه سنتی داشته باشد؛ مواردی هم‌چون فرایند طراحی سریع، زمان تولید کم‌تر، کاهش تعداد اقدامات لازم برای تولید محصول، امکان توزیع بیش‌تر و تولید غیر متمرکز، کاهش نیاز به انبارداری، بسته‌بندی، و حمل‌ونقل. استفاده از فایل‌های کُد، به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا به سرعت نمونه‌های اولیه را تولید کنند و محصولات هدف‌دار را مطابق با نیازهای مشتری، ایجاد نمایند (Mellor et al., 2014: 195). چاپ سه‌بعدی با کاهش میزان موجودی استفاده نشده و در نتیجه کاهش هدررفت سرمایه به کسب و کارها کمک می‌کند. هم‌چنین، این فناوری به اهداف مُد پایدار یاری رسانده است، نظیر به حداقل رساندن پسماند در چاپ، بازیافت مواد، استفاده از مواد سازگار با محیط زیست که در آینده این صنعت بسیار مورد توجه قرار خواهند گرفت. اما با وجود تمامی مزایا، این محصولات معایبی نیز دارند؛ به طور مثال، طراحی با استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی کُد، چاپ‌گرها و مواد مختلف فرایندی پیچیده است که به همکاری دانش و مهارت‌های بین‌رشته‌ای نیاز دارد؛ علاوه بر این، ممکن است درک الگوریتم‌های ریاضی لازم برای تولید ساختارهای دقیق سه‌بعدی برای طراحان مشکل باشد (Melnikova et al., 2014: 7). هم‌چنین، قیمت بالا در محصول نهایی، انعطاف‌پذیری پایین محصول در برخی از روش‌های چاپ سه‌بعدی، عدم ظرافت فیلامنت‌ها در مقایسه با نخ‌های نساجی را می‌توان از جمله معایب این فناوری برشمرد (Vanderploeg et al., 2017: 9).

نظر به این‌که، استفاده از چاپ سه‌بعدی در صنعت مُد یک موضوع نوظهور برای بحث است، پرسشی که این پژوهش

تولید انبوه به تولید محدود و کاهش حجم تولید و مواد زاید، ورود کاربر به حوزه طراحی با هدف افزایش عمر روانی و اجتماعی محصول، بر تغییر نگرش اجتماعی و فرهنگی مصرف کننده موثر واقع شود.

در مقاله «مطالعه توسعه و بهبود محصولات مُد با استفاده از چاپگر سه بعدی FDM» نوشته سویان کیم^۴ و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از چاپگر سه بعدی FDM، یک لباس واقعی تولید شده و محدودیت های مواد، برنامه های مدل سازی و فرآیندهای چاپ، تولید و پوشیدن مورد بررسی قرار گرفته و چندین پیشنهاد برای غلبه بر هر یک از محدودیت ها ارائه شده است. کتاب «بررسی مخاطرات چاپ گر ها و محصولات چاپ سه بعدی» ویرایش شده توسط اِوا جاکوبسون^۵ و همکاران (۲۰۱۷)، به تجزیه و تحلیل روش های مختلف مدل سازی ورقه های ذوب شده (FDM)،^۶ استریولیتوگرافی (SL/SLA)^۷ و ذوب انتخابی توسط پرتو لیزر (SLS)،^۸ پرداخته و خواص شیمیایی بیست و چهار نوع ماده را - که می توانند در این روش ها به کار روند - مورد آزمایش قرار داده است. در کتابچه «راهنمای چاپ سه بعدی؛ فناوری، طراحی، برنامه های چاپ سه بعدی» نوشته بن ردوود^۹ و همکاران (۲۰۱۷)، تشریح عمومی ترین شیوه های چاپ سه بعدی و مرور کلی بر روند چاپ سه بعدی و تاثیر آن بر آینده، مورد پژوهش قرار گرفته است.

در مقاله «کاربرد فناوری چاپ سه بعدی در صنعت مُد» تالیف آلیسون و اندر بلوگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۷)، به معرفی روش های چاپ سه بعدی - که در مُد کاربرد دارند، مانند استریولیتوگرافی، ذوب انتخابی توسط پرتو لیزر، مدل سازی ورقه های ذوب شده، پلی جت^{۱۱} و باینر جتینگ^{۱۲} - پرداخته شده است.

این مقاله طراحان را در فرایند چاپ سه بعدی به لحاظ کاربردها، مزایا و چالش های پیش رو راهنمایی می نماید. آنوپاما پاسریکا^{۱۳} و همکار (۲۰۱۸)، در مقاله «کاوش در چاپ سه بعدی برای ایجاد مفاهیم مُد و جواهرات پایدار با پسماند صفر» اولین آزمایشات موفقیت آمیز در زمینه چاپ سه بعدی برای ایجاد لوازم جانبی در مُد را با پسماند صفر به اجرا در آورده اند. ملنیکووا و همکاران (۲۰۱۴)، در مقاله «چاپ سه بعدی ساختارهای پارچه با روش FDM با مواد پلیمری مختلف» به مطالعه مواد پلیمری مختلف و چاپ آن ها با چاپگر FDM پرداخته اند و بسته به مواد، چالش های مختلف را که ممکن است طراحان در آینده با آن مواجه شوند، مورد بررسی قرار داده اند.

روش انجام پژوهش

این مقاله به لحاظ هدف در زمره پژوهش های توسعه ای قرار دارد؛ زیرا در آن جنبه معرفی و توسعه فناوری چاپ سه بعدی در صنعت مُد مدنظر قرار گرفته است. اما به لحاظ محتوا، تحقیق تحلیلی محسوب می شود. چرا که پس از شناخت زوایای مختلف موضوع و جمع آوری اطلاعات به دست آمده در حوزه های مختلف تولید افزایشی (چاپ سه بعدی) و صنعت مُد به تحلیل و تشریح داده ها پرداخته شده است. در این پژوهش از روش تجزیه و تحلیل کیفی در جهت تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شده است و روش گردآوری اطلاعات به صورت اسنادی (کتابخانه ای) و ابزار گردآوری اطلاعات، برگه شناسه (فیش) است. روش نمونه گیری و حجم تقریبی داده ها بر اساس نمونه های در دسترس و به صورت احتمالی ساده است؛ چرا که از میان روش های متعدد به کارگیری چاپ سه بعدی پنج روش - که در صنعت مُد کاربرد بیش تری دارد - مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و بر اساس نتایج به دست آمده از داده ها خواص پایداری چاپ سه بعدی در مُد بررسی شده است.

چاپ سه بعدی در صنعت مُد

می توان اذعان داشت که فناوری تولید افزایشی یا چاپ سه بعدی، یک دانش نوظهور در ساخت محصولات است. چاپ سه بعدی در دهه ۱۹۸۰م. با فرایند استریولیتوگرافی توسط چارلز دلبیو هال^{۱۴} معرفی شده است که در سال ۱۹۸۶م. یکی از بنیان گذاران سیستم های سه بعدی شد (Lim&Cassidy, 2014: 1). تا آغاز قرن بیست و یک، شرکت های تولید چاپ گر های سه بعدی طیف گسترده ای از مواد چاپی از جمله فلزات را ارائه دادند. توسعه قابلیت های چاپ گر های سه بعدی در طول دهه اول قرن بیست و یک، با چاپ گر زد ۴۵۰^{۱۵} از شرکت زد ادامه یافت که اولین چاپ گر سه بعدی مناسب برای استفاده دسکتاپ^{۱۶} بود (Canessa et al., 2013: 14). هم چنین، چاپ سه بعدی در صنعت مُد توسط فروشندگان محصولات تک مُد، مدل های اولیه برای کار طراحان، محصولات سفارشی، قطعات هنری، طراحی های پیچیده لباس و زیورآلات سه بعدی مورد استفاده قرار می گیرد

(Vanderploeg et al., 2017: 2). علاوه بر این، شرکت های اینترنتی چاپ سه بعدی مُد، محصولاتی هم چون جواهرات، کفش و لباس های شنار را ارائه می کنند؛ چنان که برندهایی هم چون نایکی از روش SLS برای ایجاد نمونه های اولیه

مختلف بدن هر شخص به چاپ رسانده است (Howarth, 2013) (تصویر ۲).

فرایندهای چاپ سه بعدی

فرایندهای چاپ سه بعدی با طراحی محصول در نرم افزارهای کد و به طور معمول، یک برنامه مدل سازی سه بعدی مانند راینو^{۲۲} آغاز می شود. از طریق تنظیم الگوریتم های محاسباتی، می توان طرح ها را اصلاح کرد، تا بهتر شوند و یا پارامترهای خاص سایز هر یک از مصرف کنندگان را در بر داشته باشند. (Strickfaden et al., 2015: 217) برنامه هایی مانند راینو ابزارهای طراحی پارامتریک را به ویژه برای طراحی که تجربه کدنویسی ندارند، فراهم می نماید. ابزارهای طراحی پارامتریک دارای کارایی بالاتر و سهولت در کار هستند، به طوری که تغییرات متعدد در یک طراحی را می توان با یک کد واحد ایجاد کرد (Yap & Yeong, 2014: 198). زمانی که مدل سازی کامل شد، نرم افزار محصول را به لایه های افقی تقسیم می کند. سپس، داده ها از فایل به چاپ گر ارسال می شوند و محصول سه بعدی را تولید می کنند. هم چنین، پس از چاپ ممکن است محصول به رنگ پوشی و پولیش نیاز داشته باشد (Mellor et al., 2014: 196). در جدول یک، نمای کلی طراحی و فرایندهای تولید در چاپ سه بعدی نشان داده شده است. بسیاری از چاپ گره های سه بعدی دارای حجم ساخت محدودی هستند که چاپ کل محصول را در یک فرایند واحد دشوار می سازند. به همین دلیل، غالباً، بخش های مختلف محصول به صورت مجزا چاپ می شوند و سپس، با استفاده از چسب ها و یا در هم بافتن و درگیر کردن اجزای نر و مادگی مونتاژ می شوند. (Yap & Yeong, 2014: 198)

جدول ۱. نمای کلی طراحی و فرایندهای تولید روش های چاپ سه بعدی (Yap & Yeong, 2014: 198)



مواد به کار رفته در چاپ سه بعدی

مواد چاپ سه بعدی مورد استفاده شامل شیشه، سرامیک، فلزات، موم، شن، پلیمرها و رزین ها است. اما پیش بینی

و ساخت صفحات سبک در زیر کفش استفاده کرده است (Molitch-Hou, 2014) (تصویر ۱). نایکی با استفاده از چاپ سه بعدی توانست زمان تولید نمونه اولیه و تولید نهایی را از دو تا سه سال به شش ماه کاهش دهد. هم چنین، این برند در سال ۲۰۱۶ میلادی، اولین کیف های ورزشی چاپ سه بعدی را در جام جهانی فوتبال برای سه بازیکن مشهور نیمار جونینور،^{۱۷} وین رونی^{۱۸} و کریستین رونالدو^{۱۹} تولید کرد (Taylor, 2017).



تصویر ۱- نایکی، کفش های با میخ پاشنه های چاپ سه بعدی، ۲۰۱۴م. (URL7).

طراحان مُد موسسه اوت کوتور نیز توانسته اند از چاپ سه بعدی به منظور طراحی مُد خلاقانه استفاده کنند. کاترین ولز،^{۲۰} طراح مُد اهل لندن، مجموعه پروژه DNA خود را با استفاده از چاپ سه بعدی شکم بندها، ماسک ها و کلاه های ایمنی، در دوسالانه آرنیم^{۲۱} هلند به نمایش گذاشت.



تصویر ۲- کاترین ولز، مجموعه DNA، پروژه چاپ سه بعدی، ۲۰۱۲م. (URL2).

ساختارهای چاپ شده از جنس نایلون و با استفاده از فرایند SLS چاپ شده است. هم چنین، ولز طرح های خود را به وسیله یک اسکنر سه بعدی، بر اساس اندازه گیری های



تصویر ۳- مجموعه طبیعت بکر، آیریس ون هرین، هفته مُداوت کوتور پاریس، جولای ۲۰۱۳م. (URL6).



تصویر ۴- لباس شقایق لیدی گاگا، بنجامین میلس، چاپ با چاپگر استریولیتوگرافی (URL4).

شقایق «لیدی گاگا»^{۳۱} است (شکل ۴). در داخل این لباس ربات‌های کوچکی برای تولید حباب تعبیه شده است. این طرح توسط بنجامین میلس^{۳۲} با همکاری متریا لایز طراحی شده است (Sharma, 2013).

ذوب انتخابی توسط پرتولیزر (SLS)

در سال‌های اخیر محققین موفق به چاپ سه‌بعدی با ماده جدید پلاستیکی انعطاف‌پذیری به نام ترموپلاستیک پلی‌اورتان (TPU)^{۳۳} شده‌اند که دارای فناوری گرمانرم است و به‌ویژه در روش SLS از آن استفاده می‌شود (Sclater & Chironis, 2011: 492).

برای شروع فرایند چاپ، پودر پلیمرهایی نظیر شیشه، پلاستیک، فلزات، سرامیک یا نایلون بر روی پلتفرم ساخت در یک لایه نازک ریخته می‌شود. لیزری تحت کنترل رایانه لایه را ردیابی می‌کند و پودر را درست زیر نقطه جوش قرار می‌دهد؛ تا در اثر حرارت ذرات به یک جسم جامد تبدیل شوند. این عمل با عنوان «پخت» شناخته می‌شود. پس از ایجاد اولین لایه، پلتفرم ساخت پایین می‌آید و لایه بعدی پودر در معرض حرارت قرار می‌گیرد (آذرنیا، ۱۳۹۸). یکی

شده است که با پیشرفت علم در مواد چاپ سه‌بعدی، مواد ساخته‌شده از الیاف نساجی معرفی شوند. به عنوان مثال، شرکت نساجی تامی کیر،^{۳۳} در حال حاضر، یک فناوری چاپ سه‌بعدی به نام کاسی فلکس^{۳۴} تولید کرده است که هدف آن چاپ پارچه‌هایی با استفاده از پلیمرهای مایع، از جمله لاتکس طبیعی، سیلیکون، پلی‌اورتان، تفلون و هم‌چنین، الیاف نساجی، شامل پنبه، ریون و پلی‌آمید است (Yap & Yeong, 2014: 198; Shahrubudin et al., 2011: 1287).

معرفی فناوری‌های چاپ سه‌بعدی در صنعت طراحی مُد

پنج روش چاپ سه‌بعدی که غالباً، برای محصولات مُد استفاده می‌شود، عبارتند از: استریولیتوگرافی، SLS، FDM، پلی‌جت و بایندرجتینگ. هر یک از این روش‌ها مزایا و چالش‌هایی دارد که طراحان باید آن‌ها را در نظر بگیرند.

استریولیتوگرافی (SL/SLA)

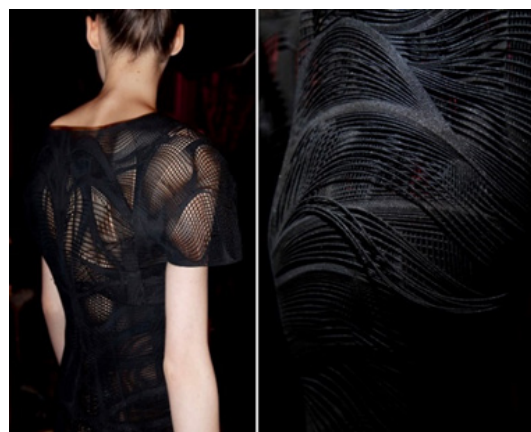
برای شروع این فرایند، پلتفرم ساخت^{۳۵} به اندازه یک لایه در رزین فتوپلیمر^{۳۶} غوطه‌ور شده، بر اساس مدل سه‌بعدی لیزر ماورابنفش بر روی سطح پلتفرم تابیده می‌شود و یک لایه از سطح مقطع را جامد می‌کند. سپس، پلتفرم به اندازه ضخامت یک لایه جامد شده پایین می‌آید و یک تیغه، مواد تازه را از مخزن رزین بر روی لایه قبلی می‌ریزد. این فرایند به طور متوالی برای هر لایه اجرا می‌شود تا فرایند تکمیل گردد (Sclater & Chironis, 2011: 491). استریولیتوگرافی، فرایند چاپ نسبتاً سریع و آسانی دارد. هم‌چنین، کوچک‌تر و ارزان‌تر از سایر چاپ‌گرها و کاربرپسند است. با این حال، یکی از معایب استریولیتوگرافی این است که به ساختارهای پشتیبان^{۳۷} نیاز دارد که ممکن است کمی کیفیت محصول را کاهش دهد؛ زیرا لازم است پس از جدا کردن ساختارهای پشتیبان، سطح محصول را سنباده بزنند. معایب دیگر، عبارتند از هزینه مواد چاپ و عدم تنوع رنگ (Hoskins, 2018: 45).

در صنعت مُد، چاپ‌گر استریولیتوگرافی «ماموت» متریا لایز^{۳۸}، برای تولید لباس‌های بلند و پیچیده استفاده شده است. آیریس ون هرین،^{۳۹} طراح هلندی، از چاپ‌گر استریولیتوگرافی ماموت برای مجموعه «طبیعت بکر»^{۳۰} خود استفاده کرده است (تصویر ۳)؛ که لباس‌هایی نیمه‌شفاف با ترکیبی از عناصر و المان‌های دست‌ساز و ساختارهای استخوان‌مانند را شامل می‌شود (Materialise, 2015). از نمونه‌های دیگر لباس‌های تهیه‌شده با ماموت، «لباس

از مزایای SLS این است که به طراحان اجازه می‌دهد، تا محصولات ظریف، در عین حال بسیار کاربردی و بادوام را با انواع گسترده‌ای از مواد ایجاد کنند، (Pasricha & Greeninger, 2018: 12).

هم‌چنین، SLS از ساختارهای پشتیبان استفاده نمی‌کند و پس از چاپ نیاز کم‌تری به سنباده زدن دارد. با این حال، یکی از معایب SLS در مقایسه با SL این است که محصولی در سطح و کیفیت بالا تولید نمی‌کند. یک نمونه از چاپ‌گر SLS - که در صنعت مُد به خصوص برای تولید جواهرات و ساعت‌های با کیفیت بالا استفاده می‌شود - چاپ‌گر پرِش‌س‌ام ۰۸۰^{۳۴} است. این چاپ‌گر زمان تولید سریعی را ارائه می‌دهد. پرِش‌س‌ام ۰۸۰ با محیط کاری طراحان جواهر و ساعت بسیار سازگار است؛ زیرا نسبتاً کوچک، کاربرپسند، و برای فضاهای اداری مناسب است (Vanderploeg et al., 2017: 18; Jacobsen et al., 2017: 4).

نمونه‌ای از پرِش‌س‌ام ۰۸۰ در صنعت مُد، توسط ریچارد هاپترف،^{۳۵} تولیدکننده ساعت‌های هاپترف استفاده شده است. او به وسیله این چاپ‌گر، خاک طلای ذوب‌شده را با لیزر برای ساخت ساعت به کار می‌برد که ظرافت برخی از ساعت‌ها به اندازه یک باتری کوچک است (Cooksongold, 2015). به جز هاپترف، آیریس ون هرپن در مجموعه لباس اوت کوتور «ولتاژ»^{۳۶} برای ساخت یک لباس ترکیبی از SLS استفاده کرده است (تصویر ۵). این لباس از TPU ساخته شده و یک بافت توری شکل دارد. به منظور ایجاد بافت در این لباس، لیزرهای بسیار دقیقی به تقلید از نخ‌های بافندگی به کار رفته



تصویر ۵- مجموعه ولتاژ، آیریس ون هرپن، هفته مُداوت کوتور پاریس، ۲۰۱۳م. (URL5).

است. TPU در اصل یک پودر سفید است، در نتیجه، آن را با مواد دیگری ذوب و ترکیب کرده‌اند تا به رنگ سیاه برسند.

مواد و روش ساخت، لباس را سرشار از حرکت با ظاهری طبیعی نشان می‌داد (Mendoza, 2014).

مدل سازی ورقه‌های ذوب‌شده (FDM)

در مقایسه با سایر چاپ‌گرهای مورد بحث به طور معمول روش FDM مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ زیرا نسبتاً مقرون به صرفه است و یک چاپ‌گر رومیزی با هزینه کم ارائه می‌دهد. مواد مورد استفاده معمولاً شامل موم و فلزات هستند و علاوه بر این، مواد سرامیک‌های اکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS)^{۳۷} و پلی لاکتیک اسید (PLA)^{۳۸} نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kim et al., 2019: 2). در این روش، برای ساخت از مواد به صورت فیلامنت استفاده می‌شود که تحت تاثیر دمای نازل، خمیری شکل شده و با حرکت برنامهریزی شده نازل، به صورت لایه لایه بر روی پلتفرم پخش می‌شوند. این روند تا آخرین لایه از کار ادامه می‌یابد و محصول نهایی را می‌سازد (Redwood et al., 2017: 36). محققان به قابلیت‌های FDM برای چاپ انعطاف‌پذیر،^{۳۹} براق و پارچه‌های توری شکل با پلیمرهای PLA نرم رسیده‌اند. هم‌چنین، مواد ABS به دلیل محکم و انعطاف‌پذیر بودن، برای ایجاد اتصالات ایده‌آل هستند (Kim et al., 2019: 19). با این حال، معایب FDM، ایجاد خطوط قابل مشاهده بین لایه‌ها و لایه‌لایه شدن محصول بر اثر تغییرات دما است. به علاوه، به دلیل این که دما در داخل چاپ‌گر در طول تولید تغییر می‌کند، ممکن است قدرت پیوند بین لایه‌ها تحت تاثیر قرار گیرد (Hoskins, 2018: 45; Jacobsen et al., 2017: 19). یک نمونه از چاپ‌گر FDM که در صنعت مُد استفاده می‌شود، چاپ‌گر رومیزی تکثیرکننده «میکروبوت»^{۴۰} است. این چاپ‌گر می‌تواند لایه‌های نازک کاغذی تولید کند که بدون سنباده زدن نرم هستند. هم‌چنین، میکروبوت یک ماده گیاهی زیست تجزیه‌پذیر به صورت «فیلامنت انعطاف‌پذیر» ارائه نموده است (Melnikova et al., 2014: 6). این ماده به طراحان اجازه می‌دهد تا محصول را به شکل بدن انسان بسازند و جایی که به حرکت نیاز دارند، اتصالات انعطاف‌پذیری ایجاد نمایند.

در سال ۲۰۱۳م. فرانسیس بیتونی^{۴۱} طراح نیویورکی، از چاپ‌گر میکروبوت در یک کارگاه آموزشی میان‌رشته‌ای به نام پوسته‌های جدید^{۴۲} استفاده کرد. شرکت‌کنندگان در دو گروه، کار با برنامه‌های نرم‌افزاری متعدد مانند مایا، راینو و زیراش^{۴۳} را تجربه کردند و نتیجه این کارگاه آموزشی منجر به ساخت لباس ورنلن^{۴۴} (تصویر ۶) و لباس بریستل^{۴۵} شد که



تصویر ۷- شل و دامن، مجموعه ولتاژ، آریس ون هرین، هفته مُداوت کوتور پاریس، ۲۰۱۳ م. (URL5)

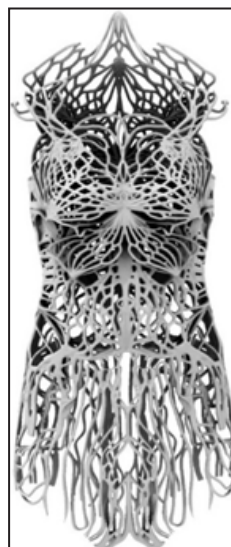
در آن‌ها به کار رفته است. ون هرین این شل و دامن را با همکاری طراح، معمار و پروفیسور نری اکسمن^{۴۸} طراحی کرده است (Vanderploeg et al., 2017: 6).

بایندر جتینگ (Binderjetting)

برای شروع فرایند بایندر جتینگ، مواد پودری در یک لایه نازک روی پلتفرم پخش می‌شوند. سپس، هد چاپ جوهرافشان، یک چسب شیمیایی را بر روی لایه‌ای از پودر می‌ریزد، تا لایه اول را کامل کند. پلتفرم برای ایجاد فضا برای لایه بعدی مواد پودری پایین می‌آید. با پیوند یافتن هر لایه جدید، پودر استفاده نشده آن از روی پلتفرم برداشته می‌شود (Shahrubudin et al., 2019: 1288).

بایندر جتینگ نیازی به ساختارهای پشتیبان ندارد و می‌تواند به عنوان سریع‌ترین روش چاپ سه‌بعدی معرفی شود. از مزایای دیگر بایندر جتینگ قدرت آن در چاپ چندین رنگ به صورت هم‌زمان است. با این حال، بایندر جتینگ معمولاً محصولات ضعیفی را تولید می‌کند و ممکن است سطح ناهمواری بر روی محصول نهایی به وجود آورد (Jacob et al., 2017: 23).

یک نمونه از چاپ گر بایندر جتینگ مورد استفاده در صنعت مُد، چاپ گر اسپکتروم زد ۵۱۰^{۴۹} است. این دستگاه به‌عنوان تنها چاپ گر سه‌بعدی است که می‌تواند محصولات را در



تصویر ۶- لباس ورلن، فرانسیس بیتونی، ۲۰۱۳ م. (URL3)

با فیلامنت‌های PLA و فیلامنت‌های انعطاف‌پذیر زیست‌تجزیه‌پذیر چاپ شده بود (Ibid).

پلی جت (PolyJet)

در چاپ‌گرهای پلی جت شیوه کاری مشابه با چاپ‌گرهای دوبعدی است. در این روش، هد چاپ گر سه‌بعدی قطرات مواد حساس به نور را بر روی پلتفرم پخش می‌کند. این قطرات با تابش آبی نور ماورابنفش جامد شده و محصول به صورت لایه‌لایه ساخته می‌شود (Redwood et al., 2017: 126).

برای ایجاد فضا برای لایه بعدی، پلتفرم پایین می‌آید و تا زمانی که چاپ کامل شود، این کار ادامه می‌یابد. با این حال، پلی جت نیازمند ساختارهای پشتیبان است که باید به طور مکانیکی حذف شوند. علاوه بر این، قرار گرفتن در معرض گرما، رطوبت، یا نور خورشید می‌تواند منجر به تغییر ابعاد در محصول شود (Shahrubudin et al., 2019: 1288).

یکی از پرکاربردترین چاپ‌گرهای پلی جت «آبجت جئومتریس»^{۴۴} است که سه نوع چاپ گر با نام آبجت کانکس^{۴۷} را در ابعاد مختلف ارائه نموده است. «آبجت کانکس ۵۰۰» می‌تواند به طور هم‌زمان چندین محصول را تولید نماید. چاپ‌گرهای کانکس برای لباس‌ها و تزئینات جانبی دارای جزئیات بسیار دقیق مناسب هستند (Sclater & Chironis, 2011: 494). فناوری چاپ آبجت کانکس را می‌توان در آثار آریس ون هرین مشاهده نمود. دو مجموعه از یازده مجموعه سه‌بعدی او با استفاده از آبجت کانکس چاپ شده است، از جمله یک شل و دامن دارای بافت بسیار ویژه از مجموعه ولتاژ (تصویر ۷) که ترکیبی از مواد سخت و نرم

اجسام چند رنگ، با رنگ‌های ۲۴ بیتی و رزولوشن ۶۰۰^{۵۰} چاپ کند (Vanderploeg et al., 2017: 7).

معرفی ویژگی‌های مُد پایدار در تولید افزایشی (چاپ سه‌بعدی)

امروزه محافظت از محیط زیست به یکی از دغدغه‌های اصلی فعالان حوزه مُد تبدیل شده است. این صنعت در حال حاضر با تولید ۱۰ درصد از تمام دی‌اکسید کربن و استفاده از ۲۵ درصد از کل مواد شیمیایی، دومین صنعت آلوده جهان محسوب می‌شود (فربود و نیکوکار، ۱۳۹۴: ۱۱۶). توسعه‌دهندگان فناوری در صنعت مُد علاقمند به ایجاد محصولاتی با ضایعات کم‌تر، به حداقل رساندن فرایندهای تولید و همچنین، بازیافت مواد سازگار با محیط زیست هستند (نعمتی، ۱۳۹۴: ۳).

طراحان تیم‌برلند^{۵۱} به طور مداوم در تلاش برای بهبود تقویت قوس کف پا، الگوهای عاج، متعادل‌کننده‌های پاشنه و ارتوپدهای داخلی هستند. به همین منظور از اسپکتروم زد ۵۱۰ جهت تولید نمونه‌های اولیه کفش‌های خود، استفاده می‌کنند. تیم‌برلند با استفاده از این چاپ‌گر توانسته به صورت چشم‌گیری بهره‌وری را افزایش داده و هزینه‌ها را کاهش دهد (Ibid). در پایان این بخش، جمع‌بندی از مباحث مطرح شده در یک جدول آورده شده است (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه پنج چاپ‌گر تولید افزایشی (چاپ سه‌بعدی) که در صنعت مُد استفاده می‌شوند (نگارندگان).

روش تولید افزایشی خودکار	دسته بندی محصولات	معایب و چالشها	مواد استفاده	مواد	بالاترین اندازه چاپ	شرکت چاپگر	برندها یا طراحان
SL	لباس‌های بلند؛ بخش‌های جزئی	استفاده از ساختارهای پشتیبان؛ فضای بزرگ نیاز دارد	اجسام بزرگ؛ اجسام دارای جزئیات؛ زمان هدایت سریع؛ کاربر پسند؛ محصول نهایی دارای سطح کیفی بالا	رزین‌های فتوپلیمر	۲ متر	ماموت متریا لایز	آیریس ون هرپن؛ لیدی گاگا
SLS	جواهرات؛ ساعت، تزیینات جانبی فلزی	اندازه چاپ محدود؛ استفاده محدود، کاربردهای نهایی	بدون استفاده از ساختارهای پشتیبان؛ اندازه کوچک؛ زمان هدایت سریع؛ محصول نهایی دارای سطح کیفی بالا	پودر فلزات	۸۰×۹۵ میلی‌متر	پرشس ام ۰۸۰	دکتر ریچارد هاپترف
FDM	لباس‌ها؛ تزیینات جانبی؛ اجزای پوشاک؛ نمونه‌های اولیه	استفاده از ساختارهای پشتیبان؛ زمان هدایت آهسته‌تر؛ اندازه چاپ محدود	مواد انعطاف‌پذیر؛ اندازه کوچک؛ کاربر پسند؛ تولید چندین محصول در یک مرتبه؛ سطوح مختلف کیفیت	فیلامنت PLA، فیلامنت ABS	۲۰۰×۲۵۰×۱۵۰ میلی‌متر	چاپگر سه‌بعدی رومیزی تکثیرکننده میکریوت	فرانسیس بیوتی
پلی جت	لباس‌های دارای بافت‌های زیاد و مجزا	استفاده از ساختارهای پشتیبان؛ دارای سطح کیفی پایین	چند ماده‌ای، اندازه کوچک؛ کاربر پسند؛ اجسام دارای جزئیات؛ تولید چندین محصول در یک مرتبه	موم مایع، فلز و فیلامنت‌های سرامیکی	۴۹۰×۳۹۰×۲۰۰ میلی‌متر	آبجت کانکس	آیریس ون هرپن
بایندر جتینگ	کفش؛ تزیینات جانبی؛ نمونه‌های اولیه	محصولات ضعیف و کم دوام	ارزان؛ چاپ رنگی؛ سریع‌ترین زمان هدایت؛ محصول نهایی دارای سطح کیفی بالا	پودر فلزی و فیلامنت‌های سرامیکی	۲۵۴×۳۵۶×۲۰۳ میلی‌متر	اسپکتروم زد ۵۱۰	تیم برلند

اکثر تولیدات پوشاک در فاصله‌ای دور نسبت به مراکز طراحی و مکان‌های فروش اولیه قرار دارند. این زنجیره تولید تا فروش بعضاً، منجر به پیچیده‌تر شدن مسیر یک طراحی تا تولید و فروش می‌شود. این زمان به طور میانگین نزدیک به شش ماه به طول می‌انجامد (کاویانی، ۱۳۹۸: ۳). هم‌چنین، این صنعت به دلیل تولیدات بیش از حد، پرتی مواد مصرفی و مشکل در بازیافت، کسب و کاری خطرناک به‌شمار می‌آید. بنابراین، همه چیز نیازمند تغییرات اساسی به کمک تحولات تکنولوژیکی است (عزیززاده، ۱۳۹۶: ۵). این دقیقاً همان کمکی است که نرم-افزارها و چاپ‌گرهای سه‌بعدی در مسیر رسیدن به آن گام برمی‌دارند؛ و این فناوری، توانایی ارائه محصولات همگام با تولید پایدار را دارد. چاپ سه‌بعدی نیاز به حمل‌ونقل کالا در سراسر جهان را از بین می‌برد؛ زیرا کالاها را می‌توان در هر مکانی چاپ و تولید کرد. چاپ‌گرهای سه‌بعدی قابلیت استفاده از مواد قابل بازیافت در مرحله تولید را دارند؛ در نتیجه، می‌توان به سطح پسماند صفر در تولید دست یافت. علاوه بر این، زمانی که محصولات تولید شده مانند پارچه‌ها و تزیینات جانبی به هر دلیلی غیرقابل استفاده شوند، می‌توان آن‌ها را بازیافت نمود و دوباره مورد استفاده قرار داد (Lim & Cassidy, 2014: 4). برش دادن قطعات الگو از طاقه‌های پارچه یک فرایند کاهشی است که مواد پسماند باقی می‌گذارد. اما از آن‌جا که در چاپ سه‌بعدی طراحان تنها آن‌چه را که نیاز دارند ایجاد می‌کنند، این زباله‌ها حذف خواهند شد. هم‌چنین، پوشاک چاپ سه‌بعدی نیاز به روش‌های مراقبت سنتی، مانند شستشو را - که مضرات زیست محیطی قابل توجهی دارند - از بین می‌برند (Vanderploeg et al., 2017: 9). برخی از مواد چاپ سه‌بعدی نیز به‌مد پایدار کمک می‌کنند، مانند PLA که یک فیلامنت انعطاف‌پذیر بر اثر حرارت است و تخریب کمی برای محیط زیست دارد؛ چون از منابع تجدیدپذیر مانند آرد ذرت، نیشکر، ریشه نشاسته مانیوک و یا حتی نشاسته سیب‌زمینی به دست می‌آید (Pasricha & Greeninger, 2018: 15). بنابراین، PLA را می‌توان یک پلاستیک امن در نظر گرفت که با توجه به قابلیت تجزیه‌پذیری بالا و دوستی زیست‌محیطی در مقایسه با تمام پلاستیک‌های مبتنی بر نفت، مانند ABS، به یک انتخاب بسیار مطلوب در جامعه چاپ سه‌بعدی تبدیل شده است. هم‌چنین، به نظر می‌رسد در سال‌های آینده می‌توان انتظار تولید موادی مشابه چرم را داشت که با محیط زیست سازگار باشند (مقصودلو، ۱۳۹۴: ۷؛ حسینی، ۱۳۹۶: ۹). مزایای اصلی چاپ سه‌بعدی فراتر از توسعه

پایدار، مصرف‌کنندگان کالاهای مُد شخصی هستند. چنین نوآوری به مصرف‌کنندگان مُد اجازه می‌دهد که یک سطح سفارشی از پوشاک مورد نظر خود را تجربه کنند. علاوه بر این، برندهای مُد نیز می‌توانند از گردش سریع‌تر در چرخه تولید و فروش بهره‌مند شوند (فربود و نیکوکار، ۱۳۹۴: ۱۲۵).

در این راستا، مجموعه زر^{۵۲} که توسط آنه کاسترو^{۵۳} و نوری کاستا^{۵۴} پایه‌گذاری شده است، با استفاده از چاپ سه‌بعدی در طراحی‌های خود با هدف دوگانه تسریع فرایندهای تولید و تأکید بر روی پایداری مواد از طریق کاهش ضایعات و استفاده از مواد بازیافتی، انقلابی در صنعت مُد اسپانیا ایجاد کرده است. رویکرد آن‌ها تهیه لباس‌های ورزشی و روزمره سازگار با محیط زیست به وسیله چاپ سه‌بعدی است. کل فرآیند تولید، از طراحی تا استفاده نهایی بر روی پایداری متمرکز است؛ بنابراین، آن‌ها مواد را از لباس‌های دسته‌دوم بازیافت می‌کنند؛ پلاستیک‌ها را یک‌بار دیگر قابل چاپ مجدد می‌کنند و از آن برای تولیدات جدید استفاده می‌کنند. مجموعه زر تحقیقاتی را آغاز کرده است که در آن، بافت را بدون ایجاد هرگونه باقی‌مانده و ضایعات زیست‌تخریب‌پذیر ایجاد کنند. آن‌ها مدعی هستند که با تولید پارچه مورد نیاز خود، ضایعات را به صفر رسانده‌اند. هم‌چنین معتقدند، «استفاده از چاپ سه‌بعدی نشان‌دهنده انقلاب مُد، در حوزه مراقبت از محیط زیست و جامعه است» (URL1).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور نگاهی بر چشم‌انداز آینده صنعت مُد با به‌کارگیری فناوری تولید افزایشی (چاپ سه‌بعدی) و شناسایی میزان توانایی این فناوری برای تحقق اهداف و دغدغه‌های صنعت مُد در آینده پرداخته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که چاپ سه‌بعدی مزایای بسیاری را شامل می‌شود که عبارتند از: تولید نمونه‌های اولیه توسط طراحان، ایجاد محصولات سفارشی برای مصرف‌کنندگان، بهبود کیفیت محصولات توسط طراحان، کاهش هزینه‌های انبارداری بسته‌بندی و حمل‌ونقل، مدیریت زمان و کاهش آن و هم‌چنین، خواص زیست‌محیطی این فناوری شامل به حداقل رساندن پسماند در چاپ، بازیافت مواد، استفاده از مواد سازگار با محیط زیست است که در آینده این صنعت بسیار مورد توجه قرار خواهند گرفت. اما هنوز هم چالش‌هایی بر سر راه طراحان وجود دارد، نظیر رنگ‌پوشی، سیقل دادن و برداشتن ساختارهای پشتیبان و مواد نامطلوب محصول که باید در نظر گرفته شوند.

قالب گیری مواد مورد استفاده قرار گیرد (Sunnyar, 2019).

34 EOS's PRECIOUS M 080.

35 Dr. Richard Hoptruff.

36 VOLTAGE.

۳۷ Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): نوعی پلیمر گرمانرم است که به دلیل قیمت مناسب و هم‌چنین، خواص متعادل مکانیکی، حرارتی و شیمیایی در زمره پر مصرف‌ترین مواد اولیه پلاستیکی محسوب می‌شود (حسینی، ۱۳۹۶: ۱۰).

۳۸ Polylacti Acid (PLA): نوعی پلی استر آلفاتیک ترموپلاستیک قابل تجزیه زیستی است که از منابع تجدیدپذیر مانند نشاسته ذرت، کاساوا و نیشکر به دست می‌آید. این ماده قابلیت فراوری گرمایی بالایی دارد (همان).

39 Flexible.

40 MakerBot Replicator Desktop 3D Printer.

41 Francis Bitonti.

42 New Skins.

۴۳ ZBrush: یک نرم‌افزار حرفه‌ای مجسمه‌سازی به صورت دیجیتال است که می‌توان در آن انواع مدل سازی سه بعدی و دوبعدی، نقاشی و بافت را با هم ترکیب کرد. این نرم‌افزار اطلاعات مربوط به نورپردازی، رنگ، جنس و عمق را برای تمام اشیای درون صحنه ذخیره می‌نماید (Vanderploeg et al., 2017: 6).

44 Verlan.

45 Bristle.

46 (Objet Geometries (OG.

47 Objet Connex.

48 Neri Oxman.

49 Spectrum Z510.

۵۰ Resolution: میزان وضوح و تفکیک پذیری جزئیات طرح.

51 Timberland.

52 ZER collection.

53 Ane Castro.

54 Núria Costa.

منابع

آذر نیا، ابوالفضل (۱۳۹۸). دوره غیر حضوری پرینتر سه بعدی، *ستاد توسعه فناوری نانو*: <http://nano.ir>، تهران (دسترسی در ۱۳۹۸/۰۱/۲۶)

حسینی، مجتبی (۱۳۹۶). *مقایسه فیلامنت ABS و PLA*، کدام یک برای چاپ سه بعدی مناسب‌تر است؟، چاپ سه بعدی، شماره ۲، ۸-۱۲.

عزیززاده، حامد (۱۳۹۶). *مد و پرینتر سه بعدی، ایکس پرینتر سه بعدی*، شماره ۱، ۱-۷.

فریود، فریناز و نیکوکار، منصوره (۱۳۹۴). *نقش فناوری تولید افزودنی در دست‌یابی به مد پایدار*، نامه هنرهای تجسمی و کاربردی، سال هشتم، شماره ۱۶، ۱۱۵-۱۳۳.

کاویانی، نسترن (۱۳۹۸). *زیست پایداری در صنعت مد با استفاده از تکنولوژی چاپ سه بعدی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد طراحی پارچه و لباس، تهران: دانشکده هنر و معماری، دانشگاه علم و فرهنگ.

پیش‌بینی می‌شود زمانی که مواد جدید جهت تهیه الیاف نساجی معرفی شوند، کیفیت محصولات مُد چاپ سه بعدی نیز بهبود یابد که در آن زمان، مواد چاپ سه بعدی می‌توانند عملکردی همانند پارچه‌ها داشته باشند. هم‌چنین، چاپ سه بعدی می‌تواند راه‌حلی مناسب برای زباله‌های ایجاد شده توسط روند مُد سریع ارائه دهد و در آینده مواد بیش‌تری در راستای سازگاری با محیط زیست مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

پی‌نوشت

1 Additive Manufacturing (AM).

۲ Digital 3D Computer-Aided Design (CAD) ...:

... گروهی از نرم‌افزارها نظیر کتیا، سالیدوُرک، کرئو و ... که طراحی و ساخت قطعات و محصولات سه بعدی به کار می‌روند (Faracad, 2018).

3 Haute Couture.

4 Sohyun Kim.

5 Eva Jacobsen.

6 (Fused Deposition Modelling (FDM.

7 (Stereolithography (SL/SLA.

8 Selective Laser Sintering.

9 Ben Redwood.

10 Alyson Vanderploeg.

11 PolyJet.

12 Binder Jetting.

13 Anupama Pasricha.

14 Charles W. Hall.

15 450 ZPrinter.

16 Desktop.

17 Neymar Jr.

18 Wayne Rooney.

19 Cristiano Ronaldo.

20 Catherine Wales.

21 Arnhem.

۲۲ Rhino: یک نرم‌افزار مدل‌سازی سه بعدی قوی بر پایه گد که از مزیت‌های آن مدل‌سازی پوسته‌های پیچیده با دستورات ساده و افزایش سرعت مدل‌سازی است (Payne, 2009).

23 TamiCare.

24 Cosyflex™

۲۵ Building Platform: صفحه‌ای که چاپ مواد بر روی سطح آن انجام می‌شود (Sclater & Chironis, 2011: 492).

۲۶ Photopolymer: فتوپلیمر یا رزین فعال شده با نور، پلیمری است که در هنگام مواجهه با نور مرئی یا ماورابنفش طیف الکترومغناطیسی، تغییر خواص می‌دهد (Ibid: 491).

۲۷ Support Rafts: ساختارهای نگهدارنده‌ای هستند که در هنگام تولید، محصول را در پلتفرم ایمن ساخته و از تخریب آن جلوگیری می‌کنند و پس از تکمیل فرایند چاپ از محصول جدا می‌شوند (Sclater & Chironis, 2011: 492).

28 Materialise's Mammoth SL Printer.

29 Iris Van Herpen.

30 Wilderness Embodied.

31 Lady Gaga's Anemone Dress.

32 Benjamin Males.

۳۳ Thermoplastic Polyurethane (TPU): یک پلیمر الاستیک و قابل ذوب است که می‌تواند به خوبی در فرایندهای مختلف تریق و

Redwood, B.; Schffer, F.; Garret, B. (2017). *The 3D Printing Handbook: Technologies, design and Applications*. 3DHubs.

Slater, N.; Chironis, N. P. (2011). *Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook*. (Vol. 3). New York: McGraw-Hill.

Shahrubudin, N.; Lee, T. C.; Ramlan, R. (2019). *An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications*. *Procedia Manufacturing*. (35, 1286-1296).

Strickfaden, M.; Stafiniak, L.; & Terzin, T. (2015). *Inspired and Inspiring Textile Designers: Understanding Creativity through Influence and Inspiration*. *Clothing and Textiles Research Journal*. 33(3), 213-228.

Vanderploeg, A.; Lee, S. E.; Mamp, M. (2017). *The Application of 3D Printing Technology in the Fashion Industry*. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. 10(2), 170-179.

Yap, Y. L.; Yeong, W. Y. (2014). *Additive Manufacturing of Fashion and Jewellery Products: A Mini Review*. *Virtual and Physical Prototyping*. 9(3), 195-201.

URLs:

URL1. <https://www.bcn3d.com/sustainability-in-fashion-through-3d-printing/> (access date: 2020/01/09)

URL2. <http://catherinewales.eu/> (access date: 2017/06/02)

URL3. <https://www.dezeen.com/verlan-3d-printed-dress-by-francis-bitonti/> Dan Howarth/ (access date: 2013/09/24)

URL4. www.forbes.com/sites/rakeshsharma/ (access date: 2013/12/06)

URL5. <https://www.irisvanherpen.com/haute-couture/Voltage> (access date: 2014/05/14)

URL6. <https://www.irisvanherpen.com/haute-couture/wilderness-embodied> (access date: 2014/08/06)

URL7. www.nike.com/news/ (access date: 2014/02/26)

مقصودلو، حسین (۱۳۹۴). مواد مصرفی پرینتر سه بعدی PLA، ایکس پرینتر سه بعدی، شماره ۲، ۱-۱۲.

نعمتی، اعظم (۱۳۹۴). تدوین الگوی مفهومی پایداری مبتنی بر ارزش آفرینی در صنعت مد و لباس، دانش هنرهای تجسمی، دوره ۲، شماره ۱، ۱-۱۶.

References:

Azizzadeh, H. (2017). *Fashion and 3D Printing*. *X Printer 3D*, (1) 1-7. (Text in Persian).

Canessa, E.; Fonda, C., Zennaro, M.; & Deadline, N. (2013). *Low-cost 3D Printing for Science, Education and, Sustainable Development*. *Low-Cost 3D Printing*. (11)13-20.

Cuzella, J. (2015). *Fast Fashion: A Proposal for Copyright Protection of 3D-printed Apparel*. *Colo. Tech. LJ*. (13) 369-393.

Farbod, F.; Nikookar, M. (2016). *The Role of Additive Manufacturing Technology in Achieving Sustainable Fashion*. *Journal of Visual and Applied Arts*. 8(16), 115-133. (Text in Persian).

Hoseini, M. (2017). *Comparison of PLA and ABS Filaments, Which One Is More Suitable For 3D Printing?* *3D printing Journal*. 8-12. (Text in Persian).

Hoskins, S. (2018). *P3D Printing for Artists, Designers and, Makers*. Bloomsbury Publishing.

Jacobsen, E.; Bondgaard Nielsen, I.; Schjøth-Eskesen, J.; Holst Fischer, C.; Larsen, P. B. (2017). *Risk Assessment of 3D Printers and 3D Printed Products*. *Danish Environmental Protection Agency: Denmark*.

Kavyani, N. (2019). *Sustainability in Fashion Industry Using 3d Print Technology*. University of Science and Culture: Tehran (Text in Persian).

Kim, S., Seong, H., Her, Y.; Chun, J. (2019). *A Study of the Development and Improvement of Fashion Products Using a FDM Type 3D Printer*. *Fashion and Textiles*. 6(1), 1-24.

Lim, H. W.; Cassidy, T. D. (2014). *P3D Printing Technology Revolution in the Future Sustainable Fashion*. *Sustainability in Textiles and Fashion*. 1-5.

Maghsoudlou, H. (2015). *PLA 3D Printer Consumables*. *X Printer 3D*. (2, 1-5) (Text in Persian).

Mellor, S.; Hao, L.; Zhang, D. (2014). *Additive Manufacturing: A Framework for Implementation*. *International Journal of Production Economics*. (149 194-201).

Melnikova, R.; Ehrmann, A.; Finsterbusch, K. (2014). *P3D Printing of Textile-based Structures by Fused Deposition Modelling (FDM) with Different Polymer Materials*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 62, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.

Nemati, A. (2015). *Developing a Conceptual Model Based on Value-Making in Fashion Industry*. *Bi-Quarterly Journal of Visual Arts Knowledge*. 2(2), 1-16 (Text in Persian).

Pasricha, A.; Greeninger, R. (2018). *Exploration of 3D Printing to Create Zero-waste Sustainable Fashion Notions and Jewelry*. *Fashion and Textiles*. 5(1), 1-18.

Payne, A.; Issa, R. (2009). *The Grasshopper Primer, for version 0.6*. 0007©2009. Capolla, La casa Energetica: Indicazioni e Idee per Progettare la Casa a Consumo Zero. Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN).

Prospects for the Fashion Industry Using Additive Manufacturing Technology (3D Printing)¹

Azam Eftekhari²

Ali Andaji Garmaroodi³

Received: 2020-02-22

Accepted: 2021-03-15

Abstract

For about three decades, researchers have been developing Additive Manufacturing Technology, or more generally, 3D printing technology. The technology of additive manufacturing or 3D printing can be considered as a result of the fourth industrial revolution in the early 21st century. The Fourth Industrial Revolution is known via concepts such as artificial intelligence, machine-human connectors, robotic technology and sensors, 3D printing technology, and cyber-physical systems, which combine real and virtual technologies to provide autonomy and communication between machines independent of humans. 3D printing is extensively applied in a number of industries, such as aerospace, automotive, medical and, dental components, alternative pieces for electronics, architectural models, and sports equipment. In addition, it is expanding in the fashion industry. In this technology, first, the product is designed using 3D modeling software, then the parts are divided into horizontal layers based on the 3D design in the software. Then the data of the digital file is sent to the printer. After that, the product is made by placing the materials in successive layers on top of each other and each layer is fastened on top of each other with special adhesives or laser beam. This continues until the layers are completed and the final product is made. That is why the technology is called additive manufacturing. Materials used in 3D printing include glass, ceramics, metals, wax, sand, polymers and, resins. However, it is predicted that with the development of science in 3D printing materials, materials made of textile fibers will be introduced. For example, the TamiCare textile company has developed a 3D printing technology that aims to print fabrics using liquid polymers including natural latex, silicone, polyurethane, Teflon, and textile fibers including cotton, Rayon and, Polyamide.

To convert a 2D design into a 3D product, 3D Cad software or programs such as Rhino are used. This software provides parametric design tools especially for designers who do not have coding experience. Parametric design tools are more efficient and easier to operate so that multiple changes to a design can be made with a single code. Based on the studies, it seems that the capabilities of 3D printing technology in the fashion industry can help designers to create prototypes, produce the final product, as well as to produce customized products, and create an interactive experience between designers and audiences. The possibilities provided by 3D software to designers lead to more creativity, and designers can easily create what they have in mind by using 3D software. Applying CAD files also allows companies to quickly produce prototypes and create targeted products according to customer needs. In addition, 3D printing can have a huge impact on the supply chain of traditional products such as fast design process, less production time, reduced number of stages required to produce the items, possibility of more distribution and decentralized production, reduced need for warehousing, packaging, and transportation. These are some of the things in the traditional process of production that can be influenced by technology. 3D printing helps businesses by reducing the amount of unused inventory and reducing capital loss. This technology has also contributed to the goals of sustainable fashion, such as minimizing waste in printing, recycling materials as well as the use of environmentally friendly materials that will be highly regarded in the future of the industry. In spite of these advantages, these products also have disadvantages, for example, designing with 3D CAD software, printers and various materials is a complex process that requires the cooperation of interdisciplinary knowledge and skills. In addition, it may be difficult for designers to understand the mathematical algorithms needed to produce accurate three-dimensional structures. Also, the high price of the final product, the low flexibility of the product in some 3D printing methods, the lack of fineness of the filaments compared to textile yarns can be considered as other disadvantages of the technology.

Given that the use of 3D printing in the fashion industry is an emerging topic for discussion, the research aims to answer the following question: "How is the 3D printing technology used in the fashion industry?" It seems that the capabilities of 3D printing technology can help designers to produce designs and customize the product with differ-

1-DOI: 10.22051/jjh.2021.30432.1491

2-M.A., Fashion Designing, Pars Institute of Higher Education, Tehran, Iran (Corresponding Author).

Email: mahsaeftekhari@gmail.com

3-Assistant Professor, Architecture Department, Pars Institute of Higher Education, Tehran, Iran.

Email: aliandaji@gmail.com

ent materials and structures, and the possibilities that 3D software provides designers, make them more creative. It should also be noted that the environmental characteristics of the technology have increased the importance of promoting knowledge about this topic. Thus, introducing and explaining 3D printing technology and understanding the advantages and disadvantages of the technology is important and necessary. In this paper, first, the 3D printing in the fashion industry is introduced. Next, the 3D printing processes and the materials used in it are studied and examples of 3D printing technologies that are often used in the fashion industry are introduced, which include five 3D printing Stereolithography methods, Selective Laser Sintering (SLS), Fused Deposition Modelling (FDM), PolyJet, Binder Jetting. Finally, 3D printing features will be examined to realize a part of sustainable fashion.

Since the paper considers the introduction and development of 3D printing technology in the fashion industry, it can be called developmental research. But in terms of content, it is considered analytical research because after recognizing the different aspects of the subject and collecting the acquired information in different areas of additive manufacturing (3D) and the fashion industry, the data have been analyzed and explained. In the research, the qualitative analysis method has been used to analyze the data and the method of data collection is documentary (library) and the data collection tool is note-taking sheets. The sampling method and the approximate volume of data are based on the available samples and are probably simple because among, the various methods using 3D printing, the five most widely used methods in the fashion industry are analyzed and based on the results obtained from the data, the sustainability aspects of 3D printing in fashion have been investigated.

The study aims to look at the future of the fashion industry by using Additive Manufacturing Technology (3D printing) and identifying the ability of this technology to achieve the goals and concerns of the fashion industry in the future. The results of the study show that 3D printing has many benefits including the production of prototypes by designers, creating customized products for consumers, improving the quality of products by designers, reducing the cost of packaging, storage, classification and, transportation; time management as well as the environmental properties of the technology, for example minimizing waste in printing, recycling materials and using environmentally friendly materials that will be highly regarded in the future of the industry. However, there are still challenges that designers face, i.e. the unavailability of 3D printing raw materials (filaments) to produce their products, the high cost of the finished product if not combined with textiles; restrictions on mass production of 3D printing products, low flexibility compared to products made with textiles, restrictions on cutting and sewing, lack of variety in the color of the materials, limitation in coloring the materials, facing cutting challenges, removing and polishing supporting structures that need to be considered.

It is predicted that when new materials are introduced to produce textile fibers, the quality of 3D printing fashion products will also improve and 3D printing materials can function as fabrics. 3D printing can also provide suitable solutions for the waste generated by fast fashion and test more environmentally friendly materials in the future.