

مروری بر انواع هدهای چاپگر جوهرافشان پیزوالکتریک

آتشه سلیمانی گرگانی

دانشیار، گروه پژوهشی علوم و فناوری چاپ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۱ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۸/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۲۳ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۸/۰۷/۰۷

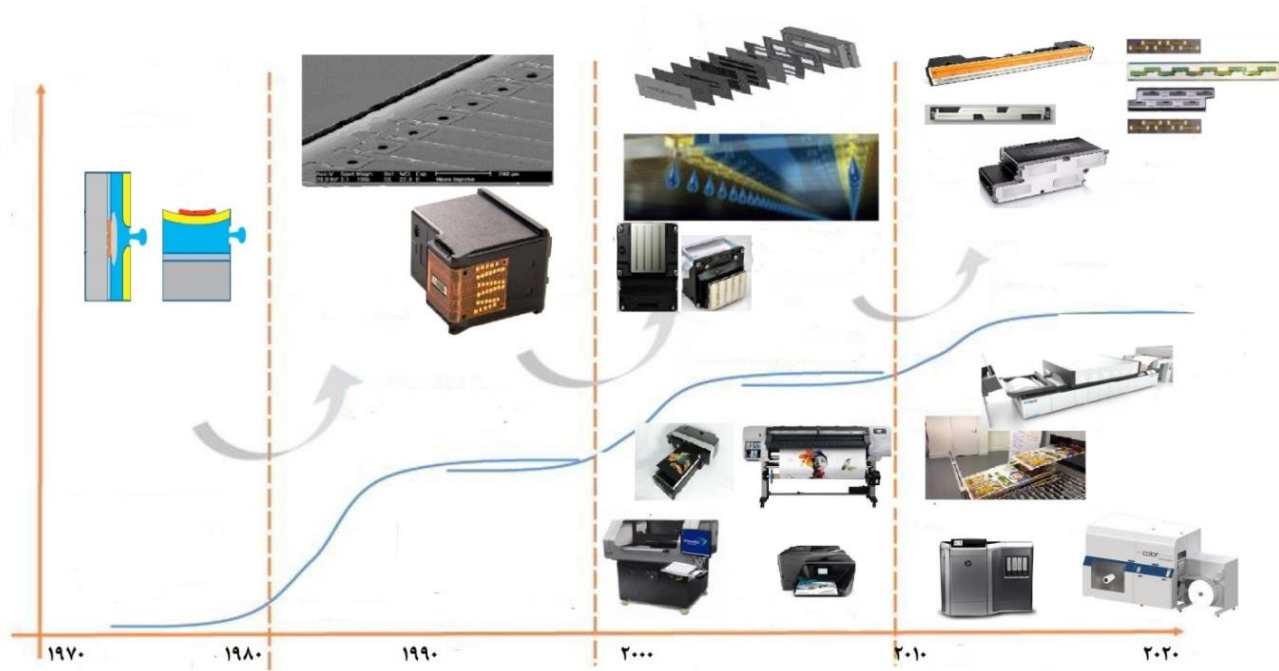
چکیده

چاپ جوهرافشان از انواع چاپ‌های غیرتماسی است. در فناوری جوهرافشان، جریانی از قطرات جوهر به صورت دیجیتالی و کنترل شده از نازل‌های کوچک موجود در هد چاپگر روی زیرآیند مورد نظر جهت ایجاد تصویر، پاشش می‌شود. این قطرات جوهر توسط ضربه فشاری که در هد چاپگر ایجاد می‌شود از نازل‌ها خارج می‌شوند. روش‌های مختلفی برای ایجاد ضربه فشاری وجود دارد که بر این اساس می‌توان هد چاپگرهای جوهرافشان را به گروه‌های مختلف دسته‌بندی کرد. هدهای چاپگرهای جوهرافشان از نظر ساختار نازل‌ها مانند تعداد، جنس، اندازه و شکل نازل‌ها، توانایی چاپ نوع جوهر، اندازه و شکل قطره جوهر، عرض چاپ، وضوح تصویر و دوام با هم متفاوت می‌باشند. به همین علت انتخاب چاپگر در بعضی از مواقع محقق یا صنعت‌گر را با مشکل روبرو می‌کند. لذا در این مقاله به تفصیل، انواع هدهای چاپگر جوهرافشان همراه با خصوصیات ساختاری آنها در جهت هدایت مصرف‌کننده بحث می‌گردد. همچنین شرکت‌های تجاری تولیدکننده انواع مختلف هدهای چاپگر در جهت عرضه در صنایع مختلف مانند کاغذ، نساجی، سرامیک و الکترونیک معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی

چاپگرهای جوهرافشان، هد چاپگر، پیزوالکتریک، مرکب.

چکیده تصویری





A Review of Piezoelectric Ink-Jet Printing Heads

Atasheh Soleimani-Gorgani*

Department of Printing Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

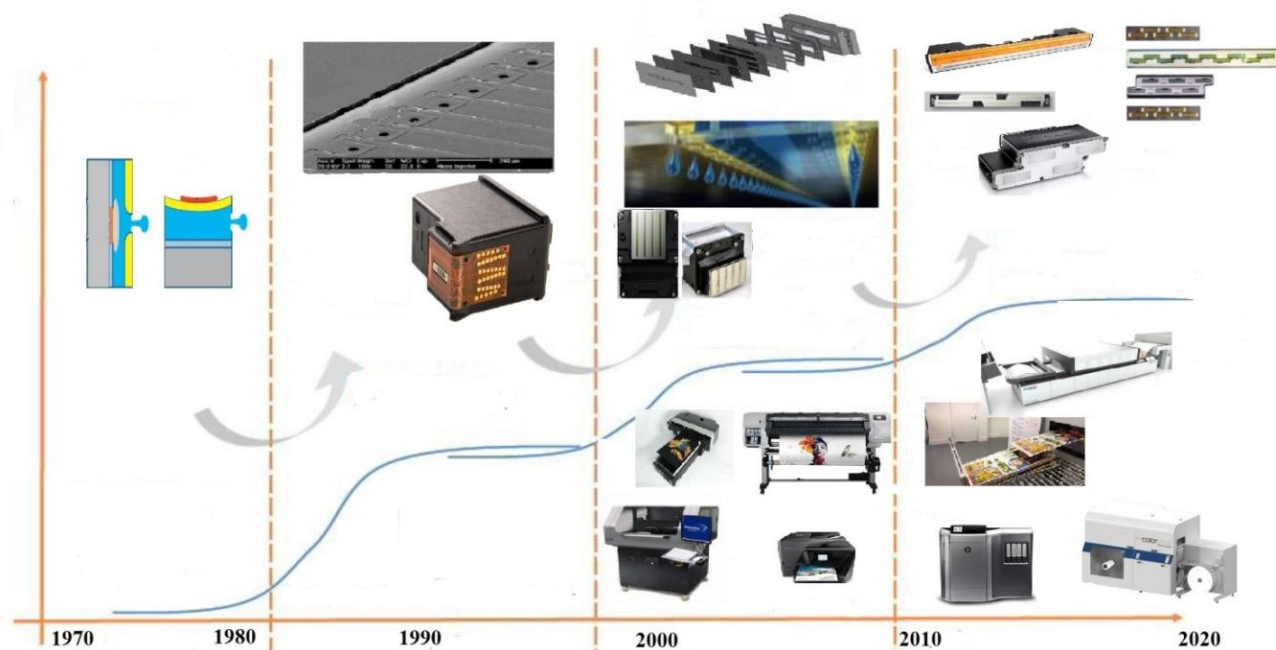
Abstract

Ink-jet printing is a non-contact printing method. In this technology, the drops of ink are jetted digitally through a small nozzle onto the specific substrate to produce an image. The ink drop formation is initiated via a pressure pulse applied from the head of the printer to the nozzle. Depending on the way of creating the pressure pulse, the ink-jet printing heads are divided into different classes. These various classes of ink-jet printing head differ in term of the structure of the nozzle such as numbers, material, size and shape, printability of ink, droplet size and shape, print wide, resolution and durability. Therefore, in some cases, the choice of the exact printer is difficult for a researcher or customer. This paper reports different types of ink-jet printing heads within their characterization to giddiness user. Also, it introduces various manufacturers who produce a diverse class of head to use in different application such as paper, textile, ceramic and electronic.

Keywords

Ink-jet printer, Printer head, Piezoelectric, Ink.

Graphical abstract

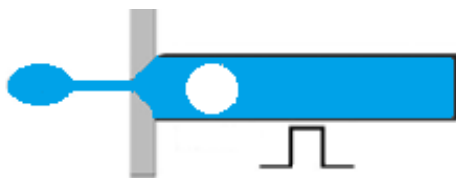


۱- مقدمه

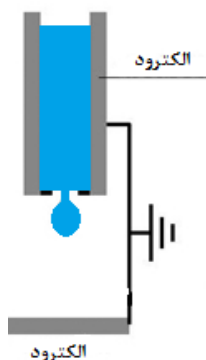
سوی رایانه، دمای المنت‌ها در حدود $350-400^{\circ}\text{C}$ بالا می‌رود. این افزایش دما باعث تبخیر لایه نازک جوهر موجود در نزدیکی المنت می‌شود. تبخیر سریع جوهر باعث ایجاد حباب شده که این حباب با افزایش فشار محفظه جوهر، موجب خروج قطره جوهر از نازل می‌شود. هدهای جوهرافشان حرارتی می‌توانند توسط تعداد زیادی از نازل‌ها که در این هدها تعبیه شده‌اند، قطراتی بسیار کوچک تولید کنند. این امر به تولید چاپگرهای کوچک‌تر و ارزان‌تر منجر شده است. ولی استفاده از این هدها با محدودیت‌هایی نیز روبرو است. جوهر مورد استفاده در این چاپگرها باید قابلیت تبخیر داشته و در دمای بالا پایدار باشد. در شکل ۱ تصویر شمایی از این نوع هد نشان داده شده است [۱].

۲-۲- هدهای الکترواستاتیکی

در این روش از اعمال یک میدان الکتریکی برای هدایت قطره جوهر استفاده می‌شود. قطره‌ی جوهر با اعمال میدان الکتریکی، از نازل خارج می‌شود. با استفاده از این فناوری می‌توان جوهرهایی با گرانبوی بالاتر از جوهرهای معمول را نیز چاپ کرد. بر خلاف سایر فناوری‌های جوهرافشان که ابعاد قطرات جوهر تولید شده به وسیله ابعاد نازل کنترل می‌شوند، در این نوع از هدهای جوهرافشان به کمک نیروهای الکترواستاتیک جوهر بدون بار به سطح نازل جذب می‌شود و سپس قطره جوهر باردار از هد چاپگر رها می‌شود و این فرآیند توسط ولتاژ اعمالی کنترل می‌گردد [۴]. بدین صورت که در شکل ۲ تصویر شمایی از فناوری موجود در این نوع از هدهای جوهرافشان نشان داده شده است. کیفیت تصویر چاپ شده توسط این روش از وضوح بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار هستند [۴].



شکل ۱- نمای ساده از هد چاپگر گرمایی [۱، ۴].



شکل ۲- نمای ساده از هد چاپگر الکترواستاتیک [۴].

در چاپ جوهرافشان، نقاط تصویری توسط رایانه شناسایی شده و وجود این نقاط با سیگنال‌های الکتریکی برای چاپگر مشخص می‌شود. این سیگنال‌های الکتریکی، باعث ایجاد یک ضربه فشاری در نازل‌های موجود در هد چاپگر شده و این فشار باعث خروج قطره از نازل می‌شود. تعداد این نازل‌ها و قطر آن‌ها، وضوح تصویر را مشخص خواهند کرد [۱]. فناوری جوهرافشان را می‌توان براساس سازوکار تولید قطره به دو گروه اصلی چاپ جوهرافشان پیوسته^۱ و قطره در صورت نیاز^۲، تقسیم‌بندی کرد [۲-۴].

در سیستم چاپ جوهرافشان پیوسته، قطره جوهر به صورت مداوم و با فرکانس بالا (در محدوده ۵۰ تا ۱۷۵ kHz) از نازل خارج می‌شود و قطراتی که باید در نقاط تصویری قرار بگیرند نشانه‌گذاری شده و به زیرآیند منتقل می‌شوند. دو الکتروود موجود در چاپگر، سبب بدارشدن قطراتی که باید در نقاط تصویری قرار بگیرند می‌شوند. سپس با استفاده از یک میدان الکتریکی، این قطرات منحرف شده و بر روی زیرآیند قرار می‌گیرند. قطراتی که دارای بار الکتریکی نشده‌اند نیز به مخزن جوهر برگشت داده می‌شوند. در سیستم چاپ جوهرافشان قطره در صورت نیاز، جوهر تنها در صورتی از نازل خارج می‌شود که نقاط تصویری توسط رایانه مشخص شده باشند. در این حالت قطره از نازل خارج شده و بر روی زیرآیند قرار می‌گیرد [۱، ۴].

۲- انواع هد در چاپگر جوهرافشان

هد چاپگر جوهرافشان مانند یک قطعه فلز کوچک است که در آن سوراخ‌های بسیار ریزی تعبیه شده است. این سوراخ‌ها را افشانه یا نازل می‌گویند. ساختار هندسی نازل‌ها (قطر و ضخامت) به طور مستقیم بر حجم قطره، سرعت جریان قطره و همچنین زاویه مسیر سهمی قطره اثر دارد [۴]. پیچیده‌ترین قسمت چاپ ریختن جوهر از هد بر روی کاغذ است. جوهر از کارت‌تریج به داخل نازل‌های هد که قطری در حدود ۵۰ میکرون دارند (قطر موی سر انسان حدود ۷۰ میکرون است) هدایت می‌شود ولی به دلیل خاصیت موئینگی، جوهر نمی‌تواند از نازل بیرون بیاید. در نتیجه توسط روش‌های متفاوت که به تفصیل شرح داده خواهد شد، قطره کوچک جوهر از نازل‌ها خارج می‌شود که بر این اساس می‌توان هد چاپگرهای جوهرافشان را در گروه‌های مختلف دسته‌بندی کرد [۴].

۲-۱- هدهای حرارتی^۳

در این سازوکار، از المنت‌های حرارتی برای تبدیل ضربه الکتریکی به فشاری استفاده می‌شود. در نقاط تصویری، و با اعمال ضربه الکتریکی از

¹ Continuous Inkjet (CIJ)

² Drop-on-Demand Inkjet (DOD)

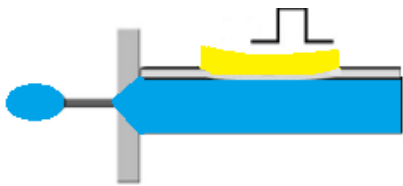
³ Thermal

۲-۳- هدهای پیزوالکتریک

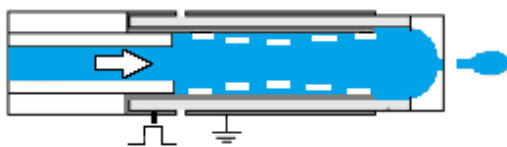
می‌شود. این جریان الکتریکی، پیزوسرامیک را پلاریزه خواهد کرد و موجب تغییر شکل آن به صورت شعاعی خواهد شد (شکل ۴). در این حالت جهت تغییر شکل پیزوسرامیک بر جهت خروج قطره عمود است. در اثر این تغییر شکل، حجم داخل استوانه کاهش پیدا کرده و قطره جوهر از نازل خارج می‌شود. چگونگی این تغییر شکل در شکل ۴ نشان داده شده است. ضربه الکتریکی به آرامی حذف می‌شود و به طبع آن پیزوسرامیک به حالت قبلی برگشته و حجم محفظه به اندازه اولیه باز می‌گردد. به دلیل سرعت پایین تغییر حجم داخلی محفظه، کاهش فشار در خروجی محفظه آن قدر کم است که نمی‌تواند بر نیروهای کشش سطحی غلبه کند. به همین دلیل پس از خروج قطره، هوا وارد محفظه نشده، و جای خالی قطره با جریان دوباره جوهر جایگزین می‌شود. این طراحی هد در چاپگرهای جوهرافشان زمینس نوع PT-80 به کار گرفته شده است [۱۰].

۲-۳-۲- محرک خمشی

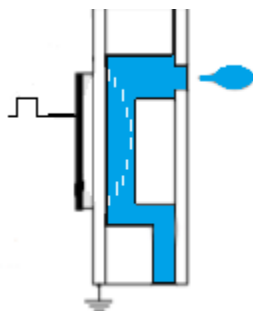
شکل ۵ یک نوع هد پیزوالکتریک را نشان می‌دهد که نحوه عملکرد آن به صورت خمشی است. این نوع هد یک محفظه فشار دارد که ورودی جوهر در یک طرف و روزه خروجی آن در طرف دیگر قرار گرفته است. دیواره متحرک این محفظه، از یک غشا رسانا تشکیل شده است که سرامیک پیزوالکتریک در تماس با آن قرار دارد. قسمت بیرونی این غشا نیز با استفاده از یک ماده رسانا پوشش داده شده است. این پوشش می‌تواند جریان الکتریکی را به مجموعه غشا و سرامیک پیزوالکتریک متصل به آن منتقل کند.



شکل ۳- نمای ساده از هد چاپگر پیزو [۴، ۱].



شکل ۴- تصویر شمایی از طراحی هد با محرک تنشی [۹].



شکل ۵- تصویر شمایی از طراحی هد با محرک خمشی [۶].

در حال حاضر هدهای جوهرافشان پیزوالکتریک، فناوری منتخب برای عرضه در بیشتر کاربردهای صنعتی در حال رشد است. در این فناوری یک بلور به طور معمول از جنس تیتانات زیرکونات سرب^۱ که خاصیت پیزوالکتریسیته دارد، تحت تأثیر ضربه الکتریکی اعمال شده، تغییر شکل می‌دهد (شکل ۳). این تغییر شکل به طور مکانیکی با ایجاد تغییر فشار، باعث خروج یک قطره جوهر از نازل می‌گردد. برخی از مواد با ساختار سرامیکی و یا بلوری خاصیت پیزوالکتریسیته دارند. این مواد در اثر اعمال فشار و یا تنش، بار الکتریکی در خود ذخیره می‌کنند. پدیده پیزوالکتریک یک فرآیند برگشت‌پذیر است. به این معنی که اگر به موادی با خاصیت پیزوالکتریسیته میدان الکتریکی اعمال شود، این مواد از خود تغییر شکل نشان می‌دهند. این خاصیت پیزوالکتریسیته معکوس نام دارد. به عنوان مثال، کریستال تیتانات زیرکونات سرب نمونه‌ای از مواد پیزوالکتریک است که حداقل تغییر شکل آن‌ها برای تولید خاصیت پیزوالکتریکی قابل اندازه‌گیری، ۰/۱٪ است. این مواد علاوه بر اینکه در ساختار هدهای پیزوالکتریک چاپگر جوهرافشان مورد استفاده قرار می‌گیرند، در سنسورها و محرک‌های مکانیکی نیز استفاده می‌شود [۷-۵].

از مزایای فناوری هدهای جوهرافشان پیزوالکتریک می‌توان به نامحدود بودن جوهرهای قابل استفاده در این فناوری اشاره کرد. همچنین یکی دیگر از مزایای این نوع از هدها، طول عمر بالای آنها است. این نوع از هدهای جوهرافشان از یک کانال به طول ۲۰-۵ میلی‌متر و سطح مقطع ۰/۰۵-۰/۰۱ میلی‌متر مربع تشکیل شده‌اند. جنس این کانال‌ها معمولاً از گرافیت، آلایژ برنج، فولاد ضدزنگ و یا سیلیکون است. غشا بین ماده پیزوالکتریک و جوهر معمولاً ضخامتی بین ۵-۵۰ میکرومتر بوده و جنس آن پلی‌ایمید، فولاد ضدزنگ، فلز و یا سیلیکون است. عامل ایجاد حرکت جوهر در این چاپگرها یک ماده پیزوسرامیک با ارتفاع ۵۰۰ میکرومتر است. در این نوع هد، ضخامت صفحه نازل بین ۳۰ تا ۱۲۵ میکرومتر و قطر نازل‌ها بین ۱۸ تا ۵۰ میکرومتر متغیر است. جنس نازل‌ها می‌تواند از نیکل، تانتالیم، فولاد ضدزنگ، پلی‌ایمید و یا سیلیکون باشد [۸]. فناوری هدهای پیزوالکتریک در چاپگرهای جوهرافشان، بر اساس هندسه تغییر شکل پیزوسرامیک‌ها به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از محرک تنشی^۲، محرک خمشی^۳ و محرک فشاری^۴ [۱۰-۹].

۲-۳-۱- محرک تنشی

در این حالت، هد از یک استوانه پیزوسرامیک با شعاع تقریبی ۱ میلی‌متر تشکیل شده است. در سطح داخلی و خارجی این استوانه الکترودهایی وجود دارد که باعث می‌شود این قطعه پیزوسرامیکی به صورت شعاعی پلاریزه شود. در هنگام خروج قطره از نازل، به پیزوسرامیک جریان الکتریکی اعمال

¹ Lead zirconate titanate

² Squeeze mode actuator

³ Bend mode actuator

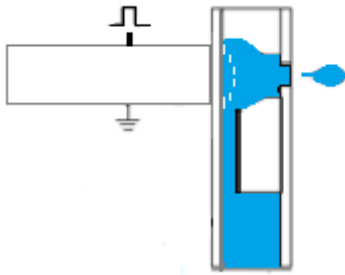
⁴ Push mode actuator

تولید هدهای پیزوالکتریکي مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳- تولیدکنندگان هدهای پیزوالکتریک ۳-۱- شرکت زار^۱

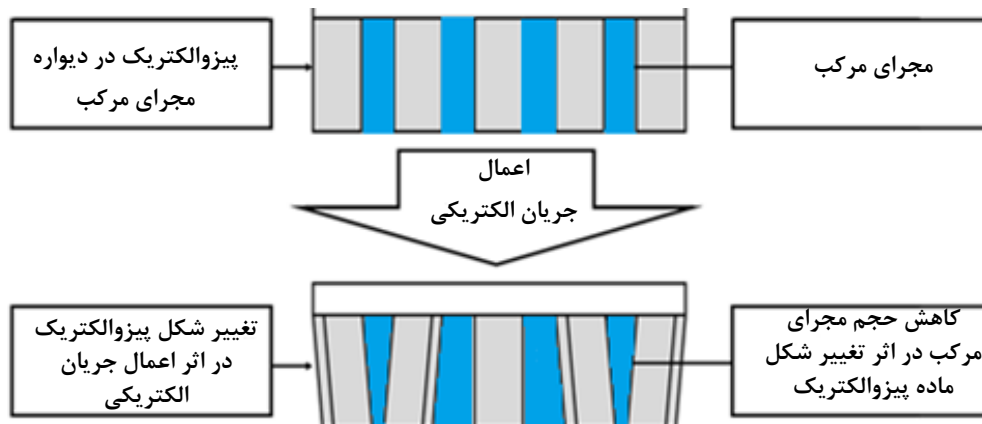
زار یکی از شرکت‌های بزرگی است که در زمینه تولید هد چاپگرهای جوهرافشان فعالیت می‌کند. این شرکت طی ۲۵ سال تجربه خود، همواره در استفاده از جدیدترین فناوری‌ها برای تولید هدهایی با قابلیت‌ها و دوام بیشتر، پیشگام بوده است.

این شرکت از فناوری پیزوالکتریک در هندسه‌های مختلف استفاده کرده و هدهایی با ویژگی‌های منحصر به فرد را تولید کرده است. در هدهای زار، از حالت خمشی پیزوالکتریک‌ها استفاده می‌شود. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، در هندسه خمشی هدهای پیزوالکتریک، ماده پیزوالکتریک به سقف محفظه جوهر اتصال دارد و با ایجاد میدان الکتریکی خمیده شده و موجب افزایش فشار در محفظه می‌شود. خروج قطره از نازل به دلیل این افزایش فشار ناشی از خمش ماده پیزو الکتریک رخ می‌دهد. این هندسه در شکل ۷ نشان داده شده است. در حالت خمشی، با خم شدگی مواد پیزوالکتریک که در دیواره مجرای جوهر تعبیه شده‌اند، افزایش فشار ایجاد شده و قطره از نازل خارج می‌شود.



شکل ۶- تصویر شمایی از طراحی هد با محرک فشاری [۹].

¹ Xaar



شکل ۷- تصویر شمایی از تغییر شکل پیزوالکتریک در حالت خمشی [۱۴، ۱۵].

اعمال ولتاژ به صفحه پیزوالکتریک موجب انقباض آن شده و خمیدگی آن به داخل محفظه را به دنبال خواهد داشت. این فرآیند، به جوهر موجود در محفظه فشار وارد کرده و باعث می‌شود که قطره جوهر از منفذ خروجی محفظه خارج شود. اندازه قطره با میزان ولتاژ اعمال شده به صفحه، مدت زمان اعمال ولتاژ و قطر منفذ خروجی محفظه تنظیم می‌شود. در این سازوکار نیز جهت پلاریزه شدن پیزوسرامیک بر جهت خروج جوهر از نازل عمود است [۹، ۱۱].

۳-۳-۲- محرک فشاری

در طراحی فشاری (شکل ۶)، یک میله پیزوسرامیک وجود دارد. زمانی که این سرامیک منبسط می‌شود، موجب اعمال فشار بر یک غشا شده و همین امر موجب خروج قطره از منفذ هد خواهد شد. در این روش جهت پلاریزه شدن ماده پیزو سرامیک هم جهت با خروج قطره از نازل می‌باشد. از نظر تئوری، محرک‌های پیزوالکتریک می‌توانند به طور مستقیم با جوهر در تماس بوده و باعث اعمال فشار به جوهر شوند. با این وجود، در ساخت این نوع هد به صورت عملی، یک غشا نازک میان محرک پیزوالکتریک و جوهر قرار داده می‌شود. این کار مانع برهم‌کنش‌های نامطلوب جوهر و ماده پیزوالکتریک خواهد شد. این فناوری در هد چاپگرهای تجاری تریدنت و اپسون مورد استفاده قرار گرفته است. شکل ۶ نحوه عملکرد این نوع هد را نشان می‌دهد [۹، ۱۲].

در آخرین فناوری مورد استفاده برای تولید قطره از نازل، از ایجاد موج فشاری در مجرای جوهر استفاده می‌شود. در این روش، هندسه تنشی برای قرارگیری پیزوسرامیک‌ها به کار می‌رود. موج فشاری در مجرای جوهر به واسطه حرکت فرکانسی دو پیزوسرامیکی که در دیواره مجرای جوهر تعبیه شده‌اند ایجاد می‌شود و خروج قطره از نازل به دلیل ایجاد موج فشاری ناشی از این حرکت فرکانسی است. در حالی که اگر هندسه نازل به صورت خمشی باشد، ایجاد فشار مکانیکی ناشی از پیزوسرامیک دلیل تولید قطره خواهد بود. حالت تنشی-فرکانسی مصرف انرژی کمتری نسبت به هندسه‌های دیگر دارد و به همین دلیل در بسیاری از هدهای جوهرافشان پیزو الکتریک از این روش برای تولید قطره از نازل استفاده می‌شود [۱۳]. در ادامه فناوری موجود در

هندسه دیگری که در هد های زار برای مواد پیزوالکتریک که در دیواره ی مجرای جوهر قرار دارند، بیان شده است، حالت V شکل^۱ می باشد. در این هندسه، دو ماده پیزوالکتریک در یک راستا و به صورت عمود بر سقف مجرای جوهر، طوری قرار گرفته اند که در اثر اعمال میدان الکتریکی، ماده پیزوالکتریک دیواره مجرای جوهر در حالت مخالف یکدیگر خمیده می شوند. تصویر شماتیکی از این هندسه در شکل ۸ نشان داده شده است. این خمیدگی باعث ایجاد تغییر فشار در مجرای جوهر و تولید قطره خواهد شد. در برخی از الگوهای هد ساخت شرکت زار، این حرکت خمشی با دامنه کوتاه تر و فرکانس بالاتر، معادل ۱۵۰ کیلوهرتز، صورت می گیرد. در این حالت موج صوتی ایجاد شده باعث خروج قطره جوهر از نازل می شود [۱۷، ۱۵].

شرکت زار الگوهای مختلفی از هد را با ویژگی های متفاوت تولید کرده است. در ادامه تعدادی از این الگوها معرفی شده و ویژگی های منحصر به فرد آن ها مورد بررسی قرار می گیرد. زار^۲ با قطعه پیزوالکتریکی ۱۷ میلی متری یکی از مرسوم ترین انتخاب ها برای استفاده در چاپگرهایی است که برای کدگذاری^۳ و یا تصاویر با عرض زیاد^۴ مورد استفاده قرار می گیرند. در الگوهای جدید این نوع از هد مدار قابل برنامه ریزی تعبیه شده است که امکان کنترل بهتری را در مورد جوهر با ویژگی های متفاوت در اختیار کاربر قرار می دهد. یکی از مهم ترین ویژگی های این نوع از هد، سازگاری آن با انواع مختلف جوهرهای پایه آبی، حلالی و روغنی است. زار^۵ ۱۲۸/۸۰L، زار^۶ ۱۲۸/۴۰L، زار^۷ ۱۲۸/۸۰W و زار^۸ ۱۲۸/۴۰W انواع مختلفی از این نوع هد هستند که مهم ترین تفاوت آن ها در اندازه ی قطره و سرعت خروج آن از نازل است [۱۸].

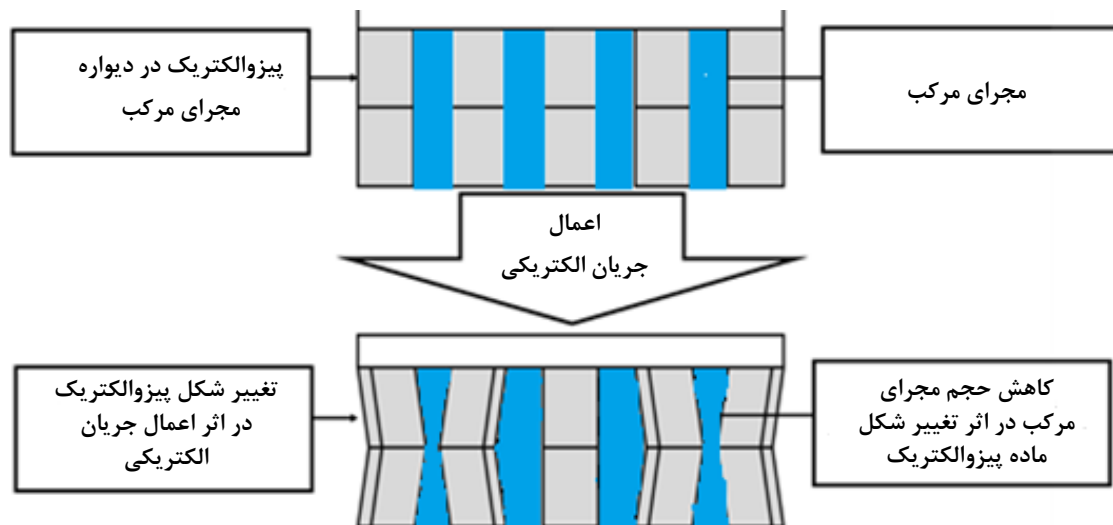
زر^۹ ۵۰۱ نوع دیگری از هد های ساخت شرکت زار است که نسبت به زار ۱۲۸ سرعت بالاتری در چاپ صفحات عریض از خود نشان می دهد. این هد قابلیت چاپ جوهرهایی با گرانش بالا و رنگدانه دار را نیز دارا است. زار^{۱۰} ۵۰۱ با پسوند های GS8 O و GS8 OR با جوهرهای پایه روغنی و زار^{۱۱} ۵۰۱ با پسوند های GS8 U و GS8 UR با جوهرهای تابش پز تحت پرتو فرابنفش سازگاری دارند. برای اولین بار در این هد از فناوری دیواره های متحرک^{۱۲} استفاده شد. در مورد این فناوری در بخش های بعدی با جزئیات بیشتری توضیح داده خواهد شد. در واقع استفاده از دیواره های متحرک در این الگو، آغازی برای استفاده های بعدی از آن در هد های زار^{۱۳} ۱۰۰۳ بود [۱۹].

زر^{۱۰} ۱۰۰۳ در دو نوع متفاوت ارائه شده اند. نوع سرامیکی^{۱۲} که به منظور چاپ روی سرامیک مورد استفاده قرار می گیرد و نوع فرابنفش^{۱۳} که برای چاپ جوهرهای تابش پز تحت پرتو فرابنفش طراحی شده است. در این هد های زار از فناوری TF استفاده شده است [۲۰، ۲۱].

در این فناوری، جریان چرخشی جوهر درون مجرای نازل به طور دائمی برقرار است. حتی زمانی که قطره در حال خروج از نازل است، در پشت آن و در مجرای هد، جریان جوهر همچنان برقرار خواهد بود. وجود جریان دائمی جوهر درون هد مزایای مختلفی دارد. با استفاده از این فناوری، هرگز ذره و یا حباب هوایی، موجب انسداد نازل نمی شود و به همین دلیل نیاز به تعمیر نازل در طول زمان کاهش پیدا می کند [۲۲-۲۴].

⁸ Xaar 128/40W
⁹ Xaar 501
¹⁰ Hybrid Side Shooter architecture
¹¹ Xaar 1003
¹² Xaar 1003 ceramics
¹³ Xaar 1003 UV

¹ Chevron
² Xaar 128
³ Coding & Marking (CM)
⁴ Wide-Format Graphics (WFG)
⁵ Xaar 128/80L
⁶ Xaar 128/40L
⁷ Xaar 128/80W



شکل ۸- تصویر شمایی از تغییر شکل پیزوالکتریک در حالت خمشی به صورت V شکل [۱۶، ۱۵].

۳-۲- شرکت دیمتیکس^۴ و فوجی فیلم^۵

دیمتیکس از شرکت‌های وابسته به فوجی فیلم بوده و یکی از شرکت‌های بزرگ تولیدکننده هد پیزوالکتریک برای چاپگر جوهرافشان است. کلیه هد‌های این شرکت در سه نسل سامبا^۶، استار فایر^۷ و کیو کلاس^۸ قرار می‌گیرد [۲۶]. در هد‌های سامبا، فناوری سیلیکون-ام ای ام اس^۹ (سیستم‌ها میکروالکترومکانیک سیلیکونی) به کار رفته است. در این فناوری برای ساخت نازل‌ها از ویفر سیلیکونی استفاده شده و برای ایجاد نازل در این ویفرهای سیلیکونی از فناوری سیستم میکرو الکترومکانیک^{۱۰} استفاده شده است. به همین دلیل شکل نازل در این هد‌ها منحصر به فرد بوده و از دقت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین به دلیل جنس سیلیکونی این هد، در مقابل مواد خورنده از خود مقاومت خوبی نشان می‌دهد.

در این نوع از هد‌های زار، مکان قرارگیری نازل نسبت به مجرای عبور جوهر در هد، متفاوت است. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، بر خلاف هد‌های دیگر که نازل در انتهای مجرای جوهر قرار می‌گیرد، لازمه فناوری TF، قرارگیری نازل در مسیر مجرای جوهر است [۲۲، ۲۳]. در زار ۱۰۰۳ فرابنفش^۱ علاوه بر فناوری TF، از فناوری HL^۲ نیز استفاده شده است. با استفاده از این فناوری می‌توان حجم زیادی از جوهر را در یک مرحله بر روی زیرآیند، چاپ کرد. این روش برای ایجاد تصاویر با ناهمواری زیاد، مانند حالتی که در چاپ علائم هشدار بر جسته برای نابینایان وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری در هد‌های زار ۲۰۰۱^۳ نیز وجود دارد [۲۵]. هد زار ۲۰۰۱ نیز برای چاپ بر روی کاشی و سرامیک به کار می‌رود. در این نوع نیز از فناوری HL استفاده شده و هد می‌تواند تا سقف ۲۰ گرم بر مترمربع را چاپ کند. همچنین این نوع هد به سیستم پیشرفته گزارش دما و حالت هد به صورت هم‌زمان با چاپ مجهز است که به کاربر امکان کنترل بهتر دما و شرایط سیستم را می‌دهد. در جدول ۱، ویژگی‌های انواع مختلف از هد‌های زار به طور خلاصه با یکدیگر مقایسه شده است.

⁴ Dimatix

⁵ Fujifilm

⁶ Samba

⁷ StarFire

⁸ Q-Class

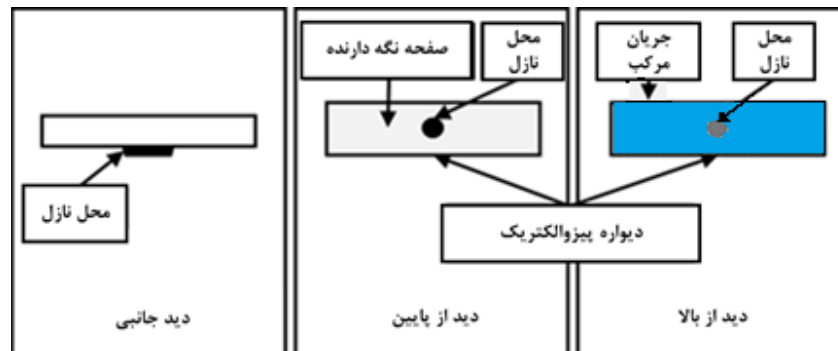
⁹ Si MEMs

¹⁰ Microelectromechanical systems (MEMs)

¹ Xaar 1003 UV

² High Laydown (HL) Technology

³ Xaar 2001



شکل ۹- زوایای مختلف از مجرای جوهر در حالتی که نازل در مسیر حرکت جوهر قرار دارد [۲۲-۲۴].

جدول ۱- مقایسه ویژگی‌های انواع مختلف هد ساخت شرکت زار [۲۲].

زار ۲۰۰۱	زار ۱۰۰۳	زار ۵۰۱	زار ۱۲۸	واحد	ویژگی فیزیکی
۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۲۸	-	تعداد نازل
۷۲۰	۳۶۰	۱۸۰	۱۸۵	npi	تعداد نازل در واحد اینچ ^{۱۱}
۱۲،۶	۱۲،۶	۲۷-۱۰	۸،۶،۴	kHz	فرکانس خروج قطره از نازل
۶،۵	۶،۵	۷،۶	۶،۵	m/s	سرعت قطره
۱۳۲	۱۲۵	۱۰۴	۳۸	mm	عرض
۵۰	۳۰	۱۷	۱۲	mm	عمق
۱۰۵	۶۰	۱۱۳	۴۱	mm	ارتفاع
روغن	حلالی، تابش‌پز، روغنی	تابش‌پز، روغنی	حلالی، روغنی	-	نوع جوهر
۱۲	۴۰، ۱۲، ۶	۴۰-۸	۸۰، ۴۰	pL	حجم قطره

¹¹ Nozzles per inch or "npi"

تبدیل می شود و سپس از نازل خارج می گردد. این عملکرد موجب بهبود وضوح تصویر خواهد شد [۲۹]. در ادامه تعدادی از ویژگی های انواع مختلف هد های دیمتیکس در جدول ۲ با یکدیگر مقایسه می شوند.

۳-۳- شرکت اپسون^۲

اپسون شرکت معتبر ژاپنی است که از بهترین تولیدکنندگان هد دستگاه چاپگرهای بزرگ در جهان محسوب می شود. هد های DX اپسون دارای سرعت عالی و وضوح بالای چاپ هستند. این هد ها با جوهر های پایه حلالی سازگار هستند. هد های نسل چهارم و پنجم DX4 و DX5 و نسل هفتم DX7 در بسیاری از چاپگرهای پایه حلالی معروف مثل میماکی یا رولند و در چاپگرهای چینی چاپ عریض متفرقه به کار می روند. این شرکت در جدیدترین فناوری خود، با ایجاد تغییر در ساختار هد، توانسته است قطراتی به کوچکی ۱/۵ پیکولیترا را ایجاد کند. چگونگی انجام این تغییرات در شکل ۱۱ قابل مشاهده است. در دو تصویر پایین مشاهده می شود که در نسل جدید هد ها، مجرای نازل باریک تر شده و همین موجب تولید قطراتی با اندازه کوچک تر خواهد شد. همچنین در دو تصویر بالایی تفاوت ایجاد شده در فاصله میان نازل ها قابل مشاهده است. در نسل جدید هد های تولیدی این شرکت، فاصله میان نازل ها کاهش پیدا کرده (از ۱۴۱ به ۳۵ میکرومتر کاهش پیدا کرده است) و تعداد آن ها در واحد سطح افزایش پیدا کرده است (از ۱۸۰ به ۷۲۰ dpi افزایش پیدا کرده است) [۳۱، ۳۲].

کوچک تر بودن قطرات و سرعت بالای تولید آن ها باعث ایجاد تصاویری با وضوح بسیار بالاتر و همچنین دقت بیشتر در مرزهای تفاوت رنگ خواهد شد. میزان تغییرات ایجاد شده در اندازه قطرات و وضوح تصویر در شکل ۱۲ قابل مشاهده است. در جدول ۳ ویژگی های دو نمونه از جدیدترین هد های تولیدی شرکت اپسون ارائه شده است.

در این هد ها برای جلوگیری از تماس مستقیم پیزوالکتریک با ماده خورنده از یک لایه میانی بین پیزوالکتریک و محفظه جوهر استفاده می شود. این لایه منعطف بوده و می تواند افزایش فشار ناشی از خمش پیزوالکتریک را به محفظه جوهر منتقل کند. به دلیل استفاده از این فناوری، هد های سامبا مقاومت بالایی نسبت به انواع جوهرها و مایعات خورنده از خود نشان می دهند [۲۷].

دسته دوم از هد های دیمتیکس که استار فایر نامیده می شوند در چاپگرهای تک رنگ مورد استفاده قرار می گیرند. این نوع از هد برای چاپ پارچه و چاپ های تزئینی و تجاری کاربرد دارد. جنس نازل ها در این نوع از هد فلزی بوده که مقاومت به سایش زیادی از خود نشان می دهد [۲۸].

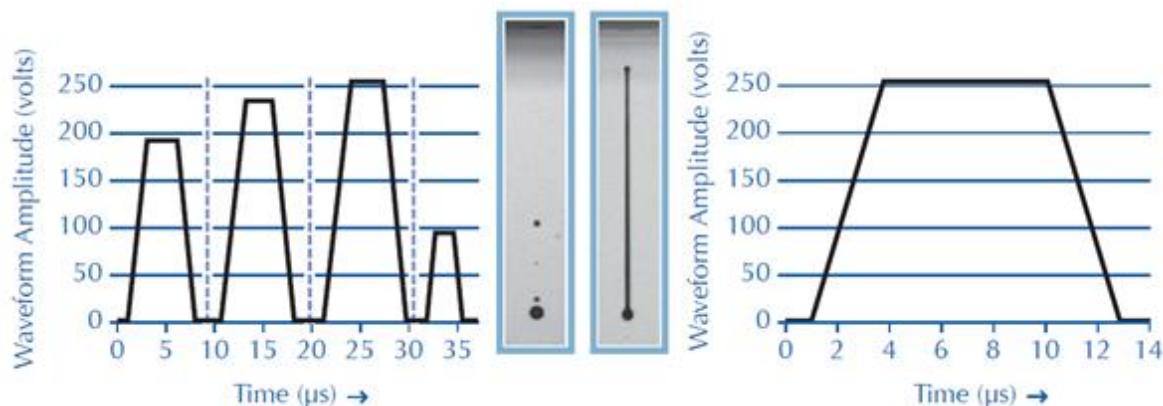
دسته سوم، هد های کیو-کلاس هستند که جدیدترین فناوری دیمتیکس به نام ورسا دراپ^۱ در آن ها به کار رفته است. در این فناوری، هد چاپگر می تواند، در یک تصویر، قطراتی با اندازه های متفاوت تولید کند. این کار از طریق تغییر در فرکانس عملکرد بخش پیزوالکتریک هد قابل انجام است. قطرات کوچک تر می توانند موجب ایجاد تصویری با وضوح بالاتر شوند و قطرات بزرگ تر بازدهی کلی دستگاه را افزایش خواهند داد. به همین دلیل استفاده از فناوری ورسا دراپ در هد چاپگر، به طور هم زمان وضوح بالاتر تصاویر و عملکرد مناسب دستگاه را به دنبال خواهد داشت [۲۹].

برای استفاده از این فناوری، هد چاپگر باید قابلیت ایجاد دامنه گسترده ای از اندازه ی قطرات را داشته باشد و همچنین پیزوالکتریک آن بتواند با فرکانس بالایی حرکت کند. این ویژگی ها در هد های سری کیو-کلاس وجود دارد. فناوری ورسا دراپ در این نوع هد ها، با ایجاد یک ضربه موجی با شدت های مختلف ایجاد می شود.

یکی دیگر از قابلیت هایی که استفاده از این فناوری ایجاد می کند، تولید قطراتی با اندازه بزرگ به صورت چند قطره کوچک است. همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، در حالت معمولی یک قطره با اندازه ۳۰ پیکولیترا، در یک حرکت پیزوالکتریک به خارج از نازل هدایت می شود. با استفاده از فناوری ورسا دراپ، این قطره، به قطراتی با اندازه های کوچک تر

² Epson

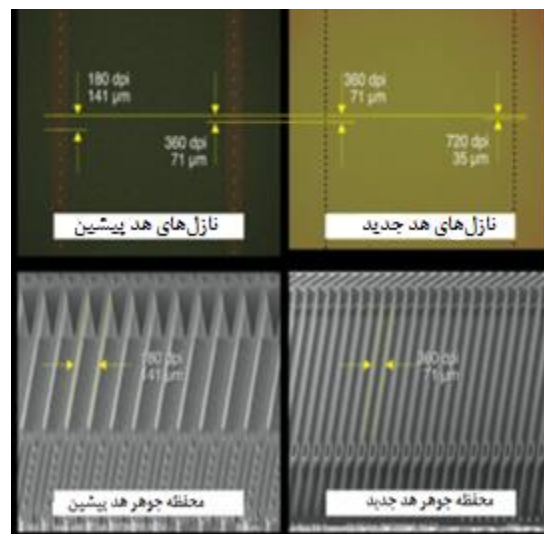
¹ Versa drop



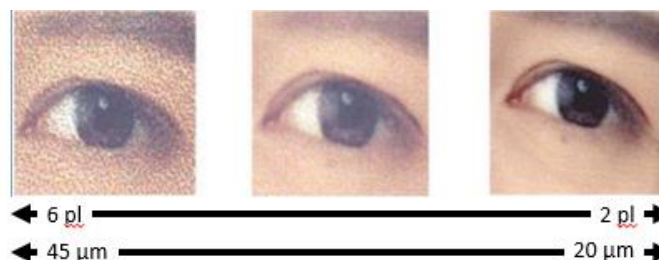
شکل ۱۰- نمودار ولتاژ در برابر زمان مربوط به خروج قطره با اندازه یکسان از هد با فناوری ورسا دراپ (چپ) و بدون آن (راست) [۲۹].

جدول ۲- مقایسه ویژگی‌های انواع مختلف هد ساخت شرکت دیمتیکس [۳۰].

کیو-کلاس	استار فایر	سامبا	واحد	ویژگی فیزیکی
QE-256/30 AAA QE-256/80 AAA	SG-1024/M-C SG-1024/M-C/2-C SG-1024/S-C SG-1024/S-C/2-C SG-1024/M-A SG-1024/M- A/2-C SG-1024/S-A SG-1024/S-A/2-C	GL3 Print-head	-	توع
۲۵۶	۱۰۲۴	۲۰۴۸	-	تعداد نازل
۶۴/۷۷	۶۴/۹	۴۳	mm	عرض چاپ
۱	۸	۳۲	-	تعداد ردیف نازل
۱۰۰	۲۰۰-۴۰۰	۱۲۰۰-۶۰۰	npi	تعداد نازل در واحد اینچ
وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	pL	اندازه قطره
پایه آبی، حلالی، تابش‌پز	پایه آبی، حلالی، تابش‌پز	پایه آبی، حلالی، تابش‌پز، لاتکس	-	نوع جوهر
۴/۵۹ × ۳۲/۰ × ۳/۳۱	۵/۹۰ × ۱/۵۷ × ۴/۹۶	۳/۲۷ × ۱/۷ × ۰/۷	mm	ابعاد
فلز- سیلیکون	فلز	سیلیکون	-	جنس صفحه نازل



شکل ۱۱- مقایسه تراکم چینش نازل‌ها بر روی هدهای نسل جدید و نسل قبلی شرکت اپسون [۳۲].



شکل ۱۲- افزایش وضوح تصویر با کاهش اندازه قطرات و فاصله‌ی میان نازل‌ها [۳۲].

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های دو نمونه از هدهای تولیدی شرکت اپسون [۳۱].

DX5	MicroTFP print chip	TFP print chip	واحد	ویژگی فیزیکی
۱۴۴۰	۴۰۰	۳۶۰۰	-	تعداد نازل
۸	۴۰۰	۳۶۰	-	تعداد ردیف نازل
۱۴۴۰	۶۰۰	۷۲۰	npi	تعداد نازل در واحد اینچ
۳/۵-۱۰	۱/۵-۳۲/۵	۱/۵-۳۲/۵	pL	اندازه قطره
وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	cP	گرانروی جوهر (در دمای چاپ)
پایه آبی، حلالی	پایه آبی، حلالی، تابش‌پز	پایه آبی، حلالی، تابش‌پز	-	نوع جوهر
میکروپیزوالکتریک	میکروالکترونیک سیلیکونی	میکروالکترونیک سیلیکونی	mm	ابعاد
			-	جنس صفحه نازل

۳-۴- شرکت کونیکا^۱

می‌رود. بیشتر هد های تولیدی این شرکت در چاپگرهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هنده قرارگیری پیزوالکتریک در این هد ها به صورت فشاری است. هد از فولاد ضدزنگ ساخته شده است که مقاومت خوبی در مقابل خوردگی و محیط های اسیدی و بازی از خود نشان می‌دهد. گرانیوی جوهر مورد استفاده در این هد ها می‌تواند تا سقف ۳۰cP باشد. از آنجاییکه هد های تریدنت بسیار مقاوم می‌باشند برای چاپ ادوات اپتوالکترونیک استفاده می‌شوند.

اجزا هد های تریدنت به راحتی از یکدیگر جدا می‌شوند و به همین دلیل بسیاری از مشکلات احتمالی که برای آن ها به وجود می‌آید توسط کاربر آن قابل حل است. این ویژگی یکی از مهم ترین مزایای این نوع از هد ها به شمار می‌رود. در جدول ۵ تعدادی از ویژگی های چند نوع مختلف از هد های تریدنت با یکدیگر مقایسه می‌شوند [۳۴، ۳۵]. جدول ۶ به طور خلاصه ویژگی های هد های متفاوتی که توسط تولید کنندگان مختلف تولید شده اند را نشان می‌دهد.

تمرکز این شرکت بیشتر بر روی هد های مناسب برای چاپ بر روی پارچه است هر چند که بعضی از هد های آن مانند KM1024i برای چاپ سرامیک و لیبیل نیز مناسب است. ویژگی هد های مناسب برای چاپ بر روی پارچه عرض چاپ زیاد و سرعت بسیار بالاست. در جدول ۴ تعدادی از ویژگی های هد های ساخت شرکت کونیکا با یکدیگر مقایسه شده است. این شرکت در جدیدترین فناوری خود هد (KM128SNG MB) که بر پایه میکرو الکترومکانیک می‌باشند را برای چاپ لایه های الکترونیکی ادوات اپتوالکترونیک مانند دیوید های نورتاب آلی، سلول های خورشیدی و نمایشگرها به بازار معرفی کرده است [۳۳].

۳-۵- شرکت تریدنت^۲

این شرکت یکی دیگر از تولید کنندگان هد های چاپگر جوهر افشان به شمار

^۱ Konica
^۲ Trident

جدول ۴- مقایسه ویژگی های انواع مختلف هد ساخت شرکت کونیکا [۳۳].

KM128SNG MB	KM1008i	KM512	KM1024	KM1024i	واحد	ویژگی فیزیکی
۱۲۸	۱۷۷۶	۵۱۲	۱۰۲۴	۱۰۲۴	-	تعداد نازل
۱۲۸	۲۹۶	۲۵۶	۵۱۲	۳۶۰	-	تعداد ردیف نازل
۶۰۰	۶۰۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	dpi	تعداد نازل در واحد اینچ
۱	۳/۵	۴۲، ۳۵، ۱۴	۴۲، ۱۴، ۶	۱۳	pL	اندازه قطره
وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	cP	گرانروی جوهر
پایه روغنی، حلالی، تابش پز	تابش پز و حلالی	پایه روغنی، حلالی، تابش پز	پایه روغنی، حلالی، تابش پز	پایه روغنی، حلالی، تابش پز	-	نوع جوهر
۵۵	<۲۰.۵	۹۵	۱۵۰	۱۵۰	g	وزن هد
۶۷×۴۰×۷۰	۱۰۶×۱۹×۱۳۷	۶۳×۴۰×۶۷	۸۹×۱۸×۱۳۱	۹۴×۱۸×۱۳۱	mm	ابعاد
۳۸	۷۲	۳۶/۱	۷۲	۷۲	mm	عرض چاپ

جدول ۵- مقایسه ویژگی های انواع مختلف هد ساخت شرکت تریدنت [۳۴، ۳۵].

256Jet-D	384Jet	768Jet	PixelJet 64	واحد	ویژگی فیزیکی
۲۵۶	۳۸۴	۷۶۸	۶۴	-	تعداد نازل
۲۵۶	۳۸۴	۷۶۸	۶۴	-	تعداد ردیف نازل
۶۴	۶۴	۶۴	۳۴	-	تعداد نازل در واحد اینچ
۸۰، ۵۰، ۳۰، ۷	۵۰	۵۰	۸۰، ۵۰، ۳۰، ۷	pL	اندازه قطره
وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	وابسته به جوهر	cP	گرانروی جوهر (در دمای چاپ)
انواع جوهر	انواع جوهر	انواع جوهر	انواع جوهر	-	نوع جوهر
فولاد ضدزنگ	فولاد ضدزنگ	فولاد ضدزنگ	فولاد ضدزنگ	-	جنس صفحه نازل
۱۰۰	۵۰	۴۳/۲	۲۲/۸	mm	عرض چاپ

جدول ۶- مقایسه ویژگی‌های هدهای تولیدی شرکت‌های مختلف [۳۲].

شرکت سازنده	نوع هد	تعداد نازل در سطح (DPI)	تعداد نازل	اندازه قطره (pl)	نوع جوهر
Kyocera	KJ4 Series	۶۰۰-۱۲۰۰	۲۶۵۶	۶-۱۴	تابش‌پز
Panasonic	Impika	۶۰۰	۸۰۰	۳-۱۴	پایه آبی
HP	X2 PIJ	۱۰۰	۱۲۸	۴۲-۵۰	پایه حلالی و تابش‌پز
Ricoh	Gen 4 PIJ	۳۰۰	۳۰۰	۷-۲۱	پایه آبی و حلالی و تابش‌پز
Ricoh	Gen 5	۶۰۰	۱۲۸۰	۷-۳۵	پایه آبی و حلالی و تابش‌پز
Ricoh	GH220	۱۲۰۰		۳-۲۱	پایه آبی و حلالی
Toshiba	CB1	۱۵۰	۱۵۰	۶-۴۲	پایه حلالی و تابش‌پز
Toshiba	CA3	۱۵۰	۱۵۰	۶-۴۲	پایه حلالی و تابش‌پز
Toshiba	CA4	۱۵۰	۱۵۰	۶-۹۰	پایه حلالی و تابش‌پز
Toshiba	CA5	۱۵۰	۱۵۰	۳	پایه حلالی و تابش‌پز
Toshiba	CE2	۳۰۰	۳۰۰	۶-۹۰	پایه حلالی و تابش‌پز
Toshiba	CF1	۳۰۰	۳۰۰	۶-۴۲	پایه حلالی و تابش‌پز
Toshiba	CE3	۱۵۰	۶۳۶	۵-۳۵	پایه حلالی و تابش‌پز
Toshiba	CF4	۶۰۰	۱۲۷۸	۳-۴	پایه حلالی، روغنی و تابش‌پز
Seiko	JetT 508GS	۵۰۸	۱۸۰	۱۲-۸۴	روغنی، پایه آبی و حلالی، تابش‌پز
Seiko	JetT510	۵۱۰	۱۸۰	۳۵	روغنی، پایه حلالی، تابش‌پز
Samsung	SemJet	۲۵۶	-	۱-۸۰	پایه آبی و حلالی و تابش‌پز

۴- نتیجه‌گیری

کوچک‌تر باشد چاپ با کیفیت بالاتری انجام می‌شود، به همین دلیل و در جهت افزایش کیفیت مستمر چاپ با چاپگرهای جوهرافشان قطر نازل‌های هد چاپگر به سرعت رو به کوچک‌تر شدن می‌باشد. هرچه قطرات جوهر حاصل کوچک‌تر شوند، نسبت سطح به جرم آنها تغییر می‌کند؛ این امر باعث کاستن سریع سرعت شده و فاصله قابل قبول پرتاب قطره را کاهش می‌دهد.

در این مقاله به بررسی فناوری چاپ جوهرافشان و کاربرد هدهای پیزوالکتریک در این فناوری پرداخته شد. در هدهای پیزوالکتریک، هندسه‌های مختلفی از ماده پیزوالکتریک به کار می‌رود که هرکدام برای کاربرد و هدف ویژه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین آخرین فناوری‌های مربوط به شرکت‌های تولیدکننده هدهای پیزوالکتریک نیز مورد بررسی قرار گرفت. تحقیقات نشان می‌دهد که هر چه حجم قطره

۵- مراجع

1. S. Magdassi, "The chemistry of inkjet inks". World scientific, Singapore, 2010.
2. د. عوض نژاد فرد، م. خطیب زاده، س. گرجی کندی، "کنترل تشکیل قطره در چاپ جوهرافشان با استفاده از تنظیم خواص فیزیکی مرکب چاپ و بررسی تاثیر اعداد بدون بعد در قابلیت چاپ"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۵، ۱۵-۲۶، ۱۳۹۷.

3. ا. پاکزاد، مرضیه خطیب زاده، "چاپ انتقالی در صنعت نساجی"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۵، ۹۳-۱۰۴، ۱۳۹۴.
4. A. Soelimani-Gorgani, "Printing on polymers: fundamentals and applications", Chapter 14, William Andrew, 2015.
5. S. S. Rao, M. Sunar, "Piezoelectricity and its use in disturbance sensing and control of flexible structures: a survey", Appl. Mech. Rev. 47, 4, 113-123, 1994.

6. A. Manbachi, R. S. C. Cobbold, "Development and application of piezoelectric materials for ultrasound generation and detection", *Ultrasound*, 19, 4, 187–196, **2011**.
7. T. Ikeda, "*Fundamentals of piezoelectricity*", Oxford university press, **1996**.
8. H. Wijshoff, "The dynamics of the piezo inkjet printhead operation", *Phys. Rep.* 491, 77–177, **2010**.
9. Z. Zhang, A. Grishin, "Characterization of Piezoelectric Shear Mode Inkjet Actuator " *Integr Ferroelectr*, 69, 401–415, **2005**.
10. J. Brunahl, "*Physics of Piezoelectric Shear Mode Inkjet Actuators*", Royal Institute of Technology, Stockholm **2003**.
11. E. L. Kyser, S. B. Sears, "Method and apparatus for recording with writing fluids and drop projection means therefor", US Patent No. 3946398A, **1976**.
12. T. M. Cooke, A. Mikalsen, E. O. Belmont, R. H. Van Brimer, "Cartridge and method of using a cartridge for phase change ink in an ink jet apparatus." US Patent No. 4823146A, **1989**.
13. Xaar, "A Guide to Industrial Inkjet", Xaar Cambridge. <https://www.xaar.com/media/1830/xaar-inkjet-guide-eng.pdf>
14. Xaar, "Shear mode animation". Xaar Cambridge, viewed **2019**. <https://www.xaar.com/en/about/piezo-printhead-modes-of-operation/>
15. Xaar, " Bend mode" viewed **2019**, <https://www.xaar.com/en/about/piezo-printhead-modes-of-operation/>
16. Xaar, "Chevron animation". viewed **2019**. <https://www.xaar.com/en/about/piezo-printhead-modes-of-operation/>.
17. Xaar, "Acoustic wave animation". viewed **2019**. <https://www.xaar.com/en/about/piezo-printhead-modes-of-operation/>.
18. Xaar, "Xaar 128," **2018**. <https://www.xaar.com/media/1926/xa-015692-pu-6-xaar-128-product-datasheet-english.pdf>.
19. Xaar, "Xaar 501 GS8," **2017**. <https://www.xaar.com/media/1170/xa-015702-pu-10-xaar-501-product-datasheet-english.pdf>.
20. Xaar, "Xaar 1003 Ceramics", **2017**. <https://www.xaar.com/media/1513/xa-046764-pu-1-xaar-1003-ceramics-product-datasheet-english.pdf>.
21. Xaar, "Xaar 1003 UV", **2017**. <https://www.xaar.com/media/1529/xa-049963-pu-1-xaar-1003-uv-product-datasheet-english.pdf>.
22. Xaar, "Fluid optimisation ", **2018**. <https://www.xaar.com/media/1925/xa-015709-pu-3-fluid-optimisation-sales-sheet-english.pdf>.
23. Xaar, "Xaar Technologies", **2018**. <https://www.xaar.com/en/about/xaar-technologies/>.
24. Xaar, "*Xaar TF Technology*". **2016**. <https://www.xaar.com/en/resource-centre/xaar-tf-technology/>
25. Xaar, "High Laydown Technology", **2018**. <https://www.xaar.com/en/resource-centre/xaars-high-laydown-technology/>
26. Dimatix.Fujifilm, "Q-Class. An entirely new way to think about inkjet systems design", https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/NEW_Qclass_Bro_online.pdf
27. Dimatix.Fujifilm, "SAMBA™ Technology Backgrounder". **2012** <https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/SAMBA%20Technology%20Backgrounder%205-10.pdf>
28. Dimatix.Fujifilm, "StarFire™ SG1024 1 Color Aqueous Printheads", **2017**. <https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/PDS00114.pdf>
29. Dimatix.Fujifilm, "VersaDrop Grayscale and Beyond", **2011**. https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/VersaDrop_TechReview.pdf
30. Dimatix.Fujifilm, "Printhead Reference Chart," **2016**. <https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/PDS00015.pdf>.
31. Epson, "Next-Generation Inkjet Technology", **2013**. <https://mediaserver.goepson.com/ImConvServlet/imconv/ab2b452bf81792490243c06f0ca91f6560c34bef/original?use=banner>
32. V. Cahill, "Inkjet Printhead Characteristics and Application Requirements", **2014** <http://www.vcesolutions.com/wp-content/uploads/2014/09/Inkjet-Printhead-Characteristics-Application-Requirements.pdf>
33. Konica.Minolta, "Industrial Inkjet", **2018**. <https://www.konicaminolta.com/inkjet/index.html>
34. Trident, "Trident's 384jet", <https://www.trident-itw.com/products/printheads/384jet.aspx>
35. Trident, "768jet™ printhead", <https://www.trident-itw.com/products/printheads/768jet.aspx>