در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir

نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۹، شماره ۲، (۱۳۹۸) ۴۲-۳۱

نوع مقاله: مروری

# 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 به‌صورت الکترونیک: ۹۸/۰۷/۰۷

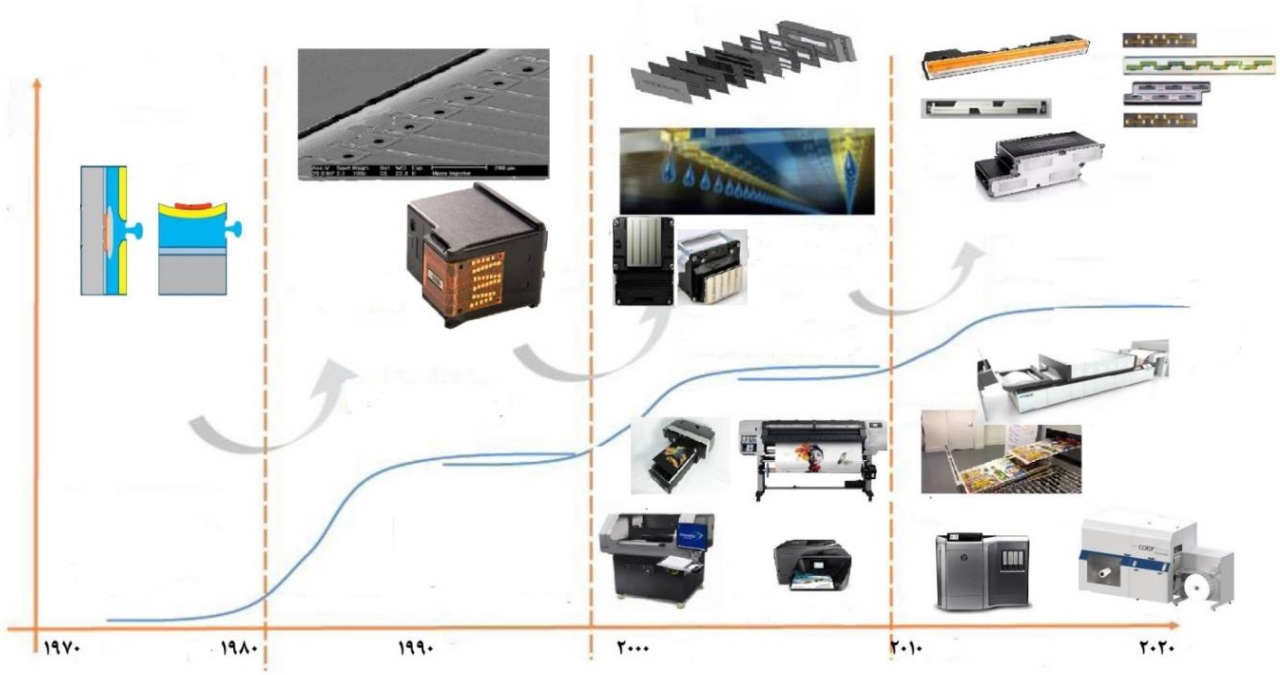
## چکیده

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 چاپگرجوهر افشان 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




*نویسنده مسئول: asoleimani@icrc.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 9, No.2, (2019) 31-42
Type: Review paper

نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

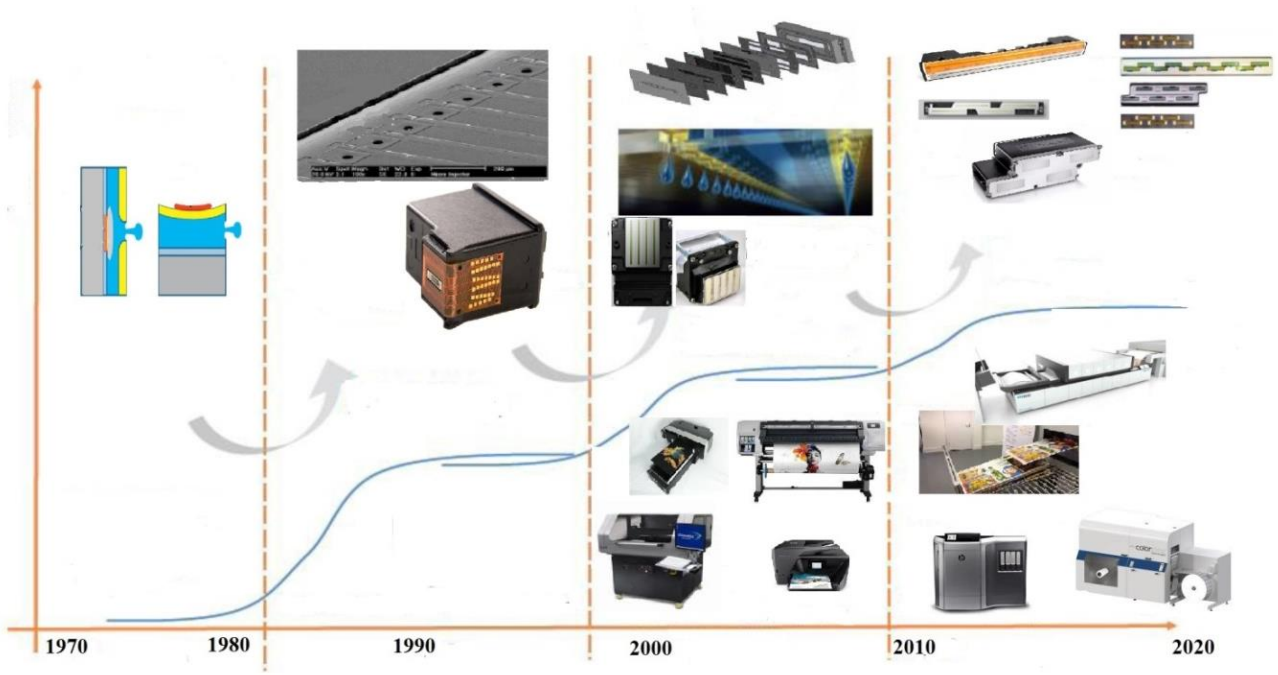
# A Review of Piezoelectric Ink-Jet Printing Heads

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




Corresponding author: asoleimani@icrc.ac.ir

## ۱- مقدمه

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 سازوکارتولید قطره به دو گروه اصلی چاپ جوهرافشان پیوسته[1] و قطره در صورت نیاز[2]، تقسیم‌بندی کرد [۴-۲].

در سیستم چاپ جوهرافشان پیوسته، قطره جوهر به صورت مداوم و با فرکانس بالا (در محدوده‌ی 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 الکترود موجود در چاپگر، سبب بادارشدن قطراتی که باید در نقاط تصویری قرار بگیرند می‌شوند. سپس با استفاده از یک میدان الکتریکی، این قطرات منحرف شده و بر روی زیرایند 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

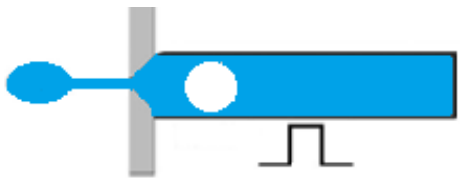
هد چاپگر جوهرافشان مانند یک قطعه فلز کوچک است که در آن سوراخ‌های بسیار ریزی تعبیه شده است. این سوراخ‌ها را افشانه یا نازل می‌گویند. ساختار هندسی نازل‌ها (قطر و ضخامت) به طور مستقیم بر حجم قطره، سرعت جریان قطره و همچنین زاویه مسیر سهمی قطره اثر دارد [۴]. پیچیده‌ترین قسمت چاپ ریختن جوهر از هد بر روی کاغذ است. جوهر از کارتریج 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 مویینگی، جوهر نمی تواند 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[3]

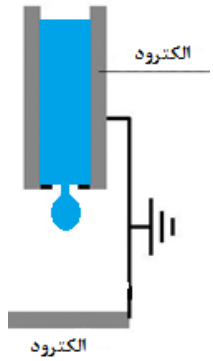
در این سازوکار، از المنت‌های حرارتی برای تبدیل ضربه الکتریکی به فشاری استفاده می‌شود. در نقاط تصویری، و با اعمال ضربه الکتریکی از سوی رایانه، دمای المنت‌ها در حدود $^{o}C$ ۴۰۰ بالا می‌رود. این افزایش دما باعث تبخیر لایهٔ نازک جوهر موجود در نزدیکی المنت می‌شود. تبخیر سریع جوهر باعث ایجاد حباب شده که این 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 شده اند، قطراتی بسیار کوچک تولید کنند. این امر به تولید چاپگرهای کوچک‌تر و ارزان‌تر منجرشده 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 الکتروستاتیکی

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 گرانروی 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 می شود 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 [۴، ۱].*




*شکل ۲- نمای ساده از هد چاپگر الکترو استاتیک [۴].*

[1] Continuous Inkjet (CIJ)
[2] Drop-on-Demand Inkjet (DOD)
[3] Thermal

## ۲-۳- هدهای پیزوالکتریک

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[1] که خاصیت پیزوالکتریسیتی دارد، تحت‌تأثیر 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 پیزوالکتریسیتی 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 پیزوالکتریسیتی میدان الکتریکی اعمال شود، این مواد از خود تغییر شکل نشان می‌دهند. این خاصیت پیزوالکتریسیتی 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 [۵-۷].

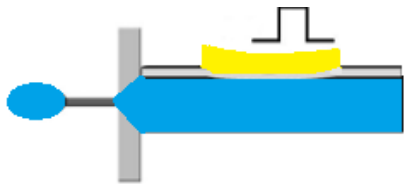
از مزایای فناوری هدهای جوهرافشان پیزوالکتریک می‌توان به نامحدود بودن جوهرهای قابل استفاده در این فناوری اشاره کرد. همچنین یکی دیگر از مزایای این نوع از هدها، طول عمر بالای آنها است. این نوع از هدهای جوهرافشان از یک کانال به طول ۲۰-۵ میلی‌متر و سطح مقطع ۰/۰۵-۰/۰۱ میلی‌مترمربع تشکیل شده‌اند. جنس این کانال‌ها معمولا از گرافیت، آلیاژ برنج، فولاد ضدزنگ و یا سیلیکون است. غشا بین ماده پیزوالکتریک و جوهر معمولا ضخامتی بین ۵-۵۰ میکرومتر بوده و جنس آن پلی ایمید، 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[2]، محرک خمشی[3] و محرک فشاری[4] [۹-۱۰].

### ۲-۳-۱- محرک تنشی

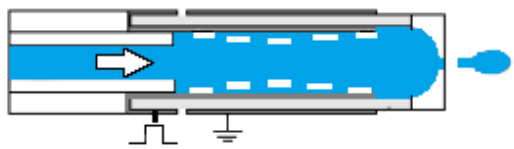
در این حالت، هد از یک استوانه پیزوسرامیک با شعاع تقریبی ۱ میلی‌متر تشکیل شده است. در سطح داخلی و خارجی این استوانه الکترودهایی وجود دارد که باعث می‌شود این قطعه پیزوسرامیکی به صورت شعاعی پلاریزه شود. در هنگام خروج قطره از نازل، به پیزوسرامیک جریان الکتریکی اعمال می‌شود. این جریان الکتریکی، پیزوسرامیک 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 آن‌قدر 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 زیمنس نوع PT-80 به کار گرفته شده است [۱۰].

### ۲-۳-۲- محرک خمشی

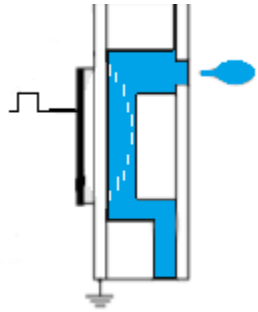
شکل ۵ یک نوع هد پیزوالکتریک را نشان می‌دهد که نحوه عملکرد آن به صورت خمشی است. این نوع هد یک محفظه فشار دارد که ورودی جوهر در یک طرف و روزنه خروجی آن در طرف دیگر قرار گرفته است. دیواره متحرک این محفظه، از یک غشا رسانا تشکیل شده است که سرامیک پیزوالکتریک در تماس با آن قرار دارد. قسمت بیرونی این غشا نیز 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].*

[1] Lead zirconate titanate
[2] Squeeze mode actuator
[3] Bend mode actuator
[4] Push mode actuator

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].

### ۲-۳-۳- 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].

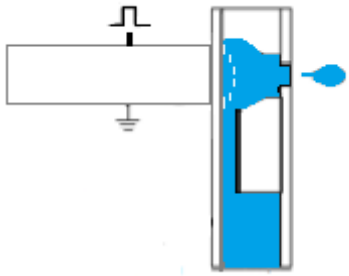
در آخرین فناوری مورد استفاده برای تولید قطره از نازل، از ایجاد موج فشاری در مجرای جوهر استفاده می‌شود. در این روش، هندسه تنشی برای قرارگیری پیزوسرامیک‌ها به کار می‌رود. موج فشاری در مجرای جوهر به واسطه حرکت فرکانسی دو پیزوسرامیکی که در دیواره مجرای جوهر تعبیه شده‌اند ایجاد می‌شود و خروج قطره از نازل 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 تولید هدهای پیزوالکتریکی مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۳- تولیدکنندگان هدهای پیزوالکتریک

### ۳-۱- شرکت زار[1]

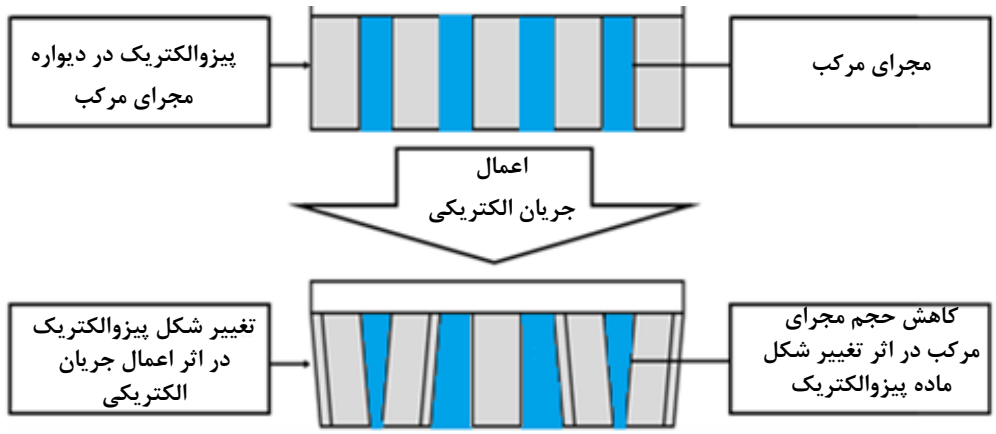
زار یکی از شرکت‌های بزرگی است که در زمینه تولید هد چاپگرهای جوهرافشان فعالیت می‌کند. این شرکت طی ۲۵ سال تجربه خود، همواره در استفاده از جدیدترین فناوری‌ها برای تولید هدهایی با قابلیت‌ها و دوام بیشتر، پیشگام بوده است.

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 پیزوالکتریکی 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].*

هندسه دیگری که در هدهای زار برای مواد پیزو الکتریکی که در دیواره‌ی مجرای جوهر قرار دارند، بیان شده است، حالت V شکل[1] می‌باشد. در این هندسه، دو ماده پیزوالکتریک در یک راستا و به صورت عمود بر سقف مجرای جوهر، طوری قرار گرفته‌اند که در اثر اعمال میدان الکتریکی، ماده پیزوالکتریک دیواره‌مجرای جوهر در حالت مخالف یکدیگر خمیده می‌شوند. 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 کوتاه‌تر و فرکانس بالاتر، معادل ۱۵۰ کیلوهرتز، صورت می‌گیرد. در این حالت موج صوتی ایجاد شده باعث خروج قطره جوهر از نازل می‌شود [۱۵، ۱۷].

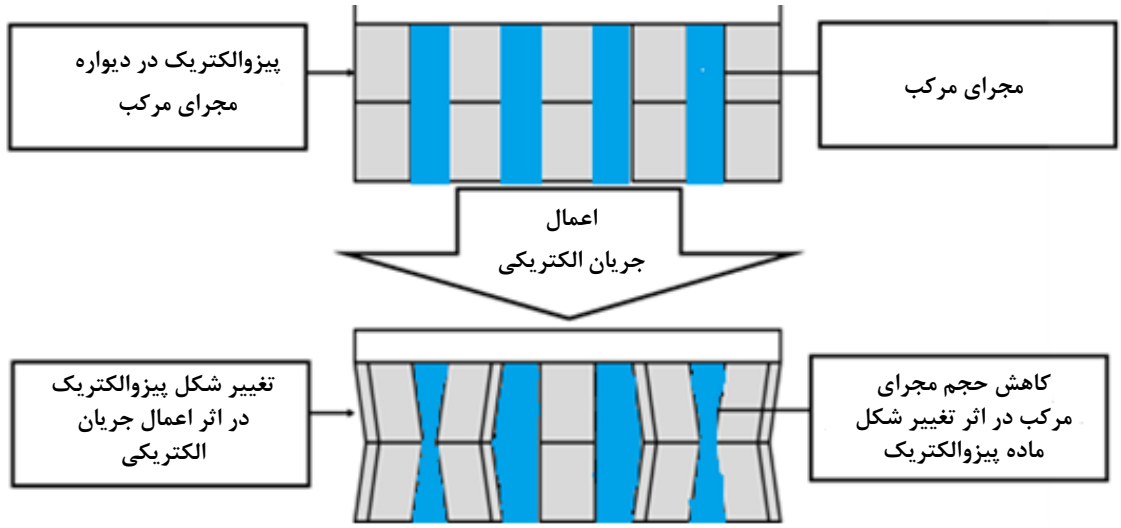
شرکت زار الگوهای مختلفی از هد را با ویژگی‌های متفاوت تولید کرده است. در ادامه تعدادی از این الگوها معرفی شده و ویژگی‌های منحصر به فرد آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. زار ۱۲۸[2] با قطعه پیزوالکتریکی ۱۷ میلی‌متری یکی از مرسوم‌ترین انتخاب‌ها برای استفاده در چاپگرهایی است که برای کدگذاری[3] و یا تصاویر با عرض زیاد[4] مورد استفاده قرار می‌گیرند. در الگوهای جدید این نوع از هد مدار قابل برنامه‌ریزی تعبیه شده است که امکان کنترل بهتری را در مورد جوهر با ویژگی‌های متفاوت در اختیار کاربر قرار می‌دهد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این نوع از هد، سازگاری آن با انواع مختلف جوهرهای پایه آبی، حلالی و روغنی است. زار ۱۲۸/۸۰L[5]، زار ۱۲۸/۴۰L[6] ، زار ۱۲۸/۸۰W[7]، زار ۱۲۸/۴۰W[8] انواع مختلفی از این نوع هد هستند که مهم‌ترین تفاوت آن‌ها در اندازه‌ی قطره و سرعت خروج آن از نازل است [۱۸].

زار ۵۰۱[9] نوع دیگری از هدهای ساخت شرکت زار است که نسبت به زار ۱۲۸ سرعت بالاتری در چاپ صفحات عریض از خود نشان می‌دهد. این هد قابلیت چاپ جوهرهایی با گرانروی بالا و رنگدانه‌دار را نیز دارا است. زار ۵۰۱ با پسوند های GS8 O و GS8 OR با جوهرهای پایه روغنی و زار 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 دیواره‌های متحرک[10] استفاده شد. در مورد این فناوری در بخش‌های بعدی با جزییات بیشتری توضیح داده خواهد شد. در واقع استفاده از دیواره‌های متحرک در این الگو، آغازی برای استفاده‌های بعدی از آن در هدهای زار ۱۰۰۳[11] بود [۱۹].

زار ۱۰۰۳ در دو نوع متفاوت ارائه شده‌اند. نوع سرامیکی[12] که به منظور چاپ روی سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرد و نوع فرابنفش[13] که برای چاپ جوهرهای تابش پز تحت پرتو فرابنفش طراحی شده است. در این هدهای 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 نمی‌شود و به همین دلیل نیاز به تعمیر نازل در طول زمان کاهش پیدا می‌کند [۲۲-۲۴].

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




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

در این نوع از هدهای زار، مکان قرار گیری 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].

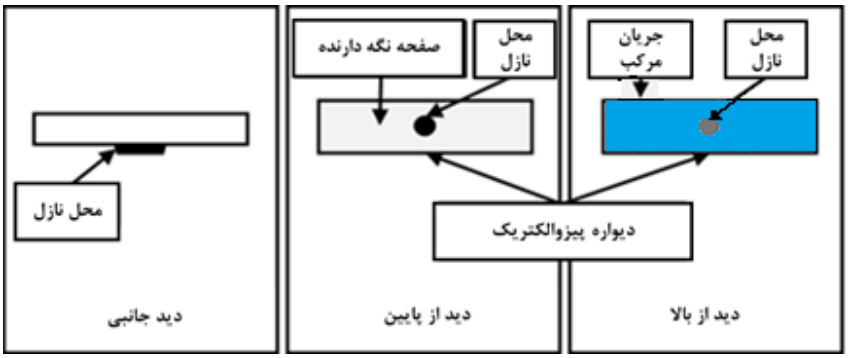
در زار ۱۰۰۳ فرابنفش[1] علاوه بر فناوری TF، از فناوری HL[2] نیز استفاده شده است. با استفاده از این فناوری می‌توان حجم زیادی از جوهر را در یک مرحله بر روی زیرآیند، چاپ کرد. این روش برای ایجاد تصاویر با ناهمواری زیاد، مانند حالتی که در چاپ علائم هشداری برجسته برای نابینایان وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری در هدهای زار ۲۰۰۱[3] 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.

[1] Xaar 1003 UV
[2] High Laydown (HL) Technology
[3] Xaar 2001

### ۳-۲- شرکت دیمتیکس[4] و فوجی فیلم[5]

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[6]، استار فایر[7] و کیو کلاس[8] قرار می‌گیرد [۲۶]. در هدهای سامبا، فناوری سیلیکون- ام ای ام اس[9] (سیستم ها 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[10] 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.

[4] Dimatix
[5] Fujifilm
[6] Samba
[7] StarFire
[8] Q-Class
[9] Si MEMs
[10] Microelectromechanical systems (MEMs)




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

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

| ویژگی فیزیکی | واحد | زار ۱۲۸ | زار ۵۰۱ | زار ۱۰۰۳ | زار ۲۰۰۱ |
|---|---|---|---|---|---|
| تعداد نازل | – | ۱۲۸ | ۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲۰۰۰ |
| تعداد نازل در واحد اینچ[11] | npi | ۱۸۵ | ۱۸۰ | ۳۶۰ | ۷۲۰ |
| فرکانس خروج قطره از نازل | kHz | ۴، ۶، ۸ | ۱۰-۲۷ | ۶، ۱۲ | ۶، ۱۲ |
| سرعت قطره | m/s | ۵، ۶ | ۶، ۷ | ۵، ۶ | ۵، ۶ |
| عرض | mm | ۳۸ | ۱۰۴ | ۱۲۵ | ۱۳۲ |
| عمق | mm | ۱۲ | ۱۷ | ۳۰ | ۵۰ |
| ارتفاع | mm | ۴۱ | ۱۱۳ | ۶۰ | ۱۰۵ |
| نوع جوهر | - | حلالی، روغنی | تابش‌پز، روغنی | حلالی، تابش‌پز، روغنی | روغن |
| حجم قطره | pL | ۴۰، ۸۰ | ۸-۴۰ | ۶، ۱۲، ۴۰ | ۱۲ |

[11] Nozzles per inch or "hpi"

در این هدها برای جلوگیری از تماس مستقیم پیزوالکتریک با ماده خورنده از یک لایه میانی بین پیزوالکتریک و محفظه جوهر استفاده می‌شود. این لایه منعطف بوده و می‌تواند افزایش فشار ناشی از خمش پیزوالکتریک را به محفظه‌ی جوهر منتقل کند. به دلیل استفاده از این فناوری، هدهای سامبا مقاومت بالایی نسبت به انواع جوهرها و مایعات خورنده از خود نشان می‌دهند [۲۷].

دسته دوم از هدهای دیمتیکس که استار فایر نامیده می‌شوند در چاپگرهای تک رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع از هد برای چاپ پارچه و چاپ‌های تزیینی و تجاری کاربرد دارد. جنس نازل‌ها در این نوع از هد فلزی بوده که مقاومت به سایش زیادی از خود نشان می‌دهد [۲۸].

دسته سوم، هدهای کیو-کلاس هستند که جدیدترین فناوری دیمتیکس به نام ورسا دراپ[1] در آن‌ها به کار رفته است. در این فناوری، هد چاپگر می‌تواند، در یک تصویر، قطراتی با اندازه‌های متفاوت تولید کند. این کار از طریق تغییر در فرکانس عملکرد بخش پیزوالکتریک هد قابل انجام است. قطرات کوچک‌تر می‌توانند موجب ایجاد تصویری با وضوح بالاتر شوند و قطرات بزرگ‌تر بازدهی کلی دستگاه را افزایش خواهند داد. به همین دلیل استفاده از فناوری ورسا دراپ در هد چاپگر، به طور همزمان وضوح بالاتر تصاویر و عملکرد مناسب دستگاه را به دنبال خواهد داشت [۲۹].

برای استفاده از این فناوری، هد چاپگر باید قابلیت ایجاد دامنه گسترده‌ای از اندازه‌ی قطرات را داشته باشد و همچنین پیزوالکتریک آن بتواند با فرکانس بالایی حرکت کند. این ویژگی‌ها در هدهای سری کیو- کلاس وجود دارد. فناوری ورسا دراپ در این نوع هدها، با ایجاد یک ضربه موجی با شدت‌های مختلف ایجاد می‌شود.

یکی دیگر از قابلیت‌هایی که استفاده از این فناوری ایجاد می‌کند، 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 پیکولیتر، در یک حرکت پیزوالکتریک به خارج از نازل هدایت می‌شود. با استفاده از فناوری ورسا دراپ، این قطره، به قطراتی با اندازه‌های کوچک‌تر تبدیل می‌شود و سپس از نازل خارج می‌گردد. این عملکرد موجب بهبود وضوح تصویر خواهد شد [۲۹]. در ادامه تعدادی از ویژگی‌های انواع مختلف هدهای دیمتیکس در جدول ۲ با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

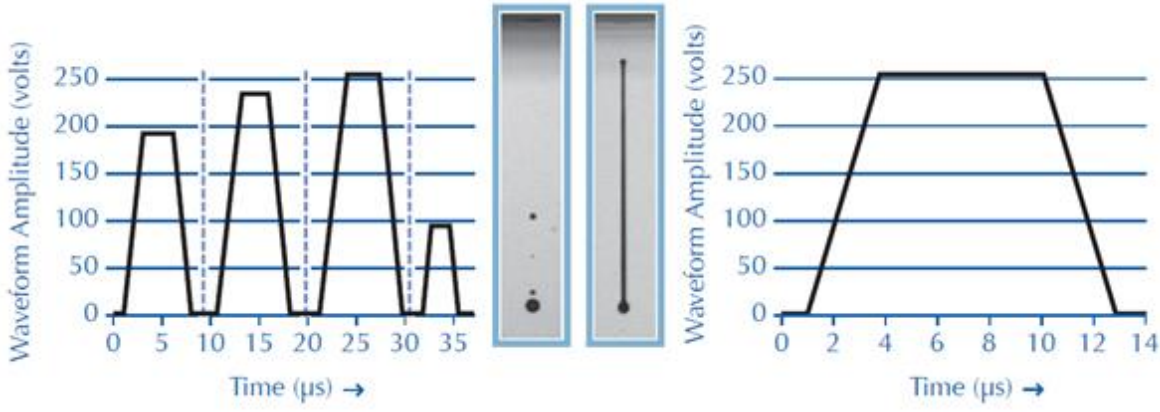
### ۳-۳- شرکت اپسون[2]

اپسون شرکت معتبر ژاپنی است که از بهترین تولیدکنندگان هد دستگاه چاپگرهای بزرگ در جهان محسوب می‌شود. هدهای DX اپسون دارای سرعت عالی و وضوح بالای چاپ هستند. این هدها 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 می‌روند. این شرکت در جدیدترین فناوری خود، با ایجاد تغییر در ساختار هد، توانسته است قطراتی به کوچکی ۱/۵پیکولیتر را ایجاد کند. چگونگی انجام این تغییرات در شکل ۱۱ قابل مشاهده است. در دو تصویر پایین مشاهده می‌شود که در نسل جدید هدها، مجرای نازل باریک‌تر شده و همین موجب تولید قطراتی با اندازه کوچک‌تر خواهد شد. همچنین در دو تصویر بالایی تفاوت ایجاد شده در فاصله میان نازل‌ها قابل مشاهده است. در نسل جدید هدهای تولیدی این شرکت، فاصله میان نازل‌ها کاهش پیدا کرده (از ۱۴۱ به ۳۵ میکرومتر کاهش پیدا کرده است) و تعداد آن‌ها در واحد سطح افزایش پیدا کرده است (از ۱۸۰ به ۷۲۰ dpi افزایش پیدا کرده است) [۳۱، ۳۲].

کوچک‌تر بودن قطرات و سرعت بالای تولید آن‌ها 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 ویژگی‌های دو نمونه از جدیدترین هدهای تولیدی شرکت اپسون ارائه شده است.

[1] Versa drop

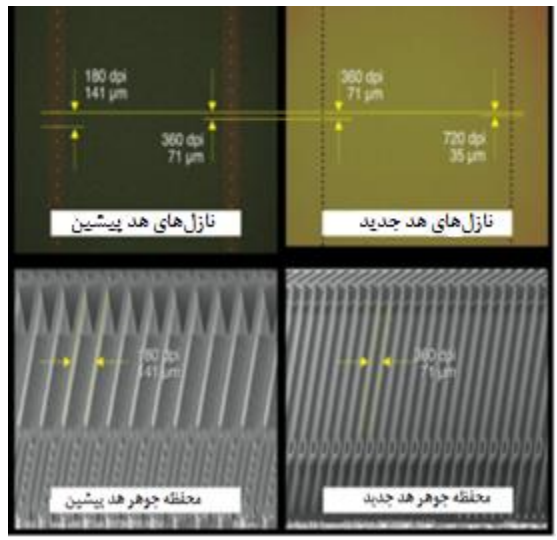
[2] Epson



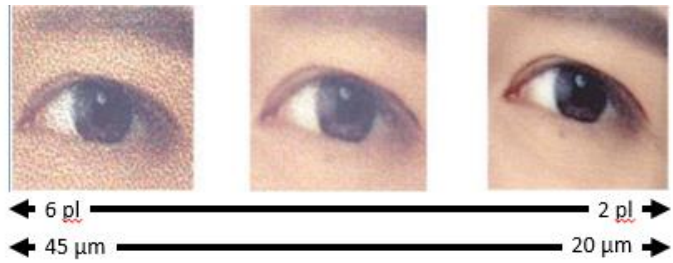

*شکل ۱۰- نمودار ولتاژ در برابر زمان مربوط به خروج قطره با اندازه یکسان از هد با فناوری ورسا دراپ (چپ) و بدون آن (راست) [۲۹].*

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

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




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].

| ویژگی فیزیکی | واحد | TFP print chip | MicroTFP print chip | DX5 |
|---|---|---|---|---|
| تعداد نازل | - | ۳۶۰۰ | ۴۰۰ | ۱۴۴۰ |
| تعداد ردیف نازل | - | ۳۶۰ | ۴۰۰ | ۸ |
| تعداد نازل در واحد اینچ | npi | ۷۲۰ | ۶۰۰ | ۱۴۴۰ |
| اندازه قطره | pL | ۱/۵-۳۲/۵ | ۱/۵-۳۲/۵ | ۳/۵-۱۰ |
| گرانروی جوهر(در دمای چاپ) | cP | وابسته به جوهر | وابسته به جوهر | وابسته به جوهر |
| نوع جوهر | - | پایه آبی، حلالی، تابش‌پز | پایه آبی، حلالی، تابش‌پز | پایه آبی، حلالی |
| ابعاد | mm | ۲۹/۷×۸ | ۳۸/۵×۶/۸ | |
| جنس صفحه نازل | - | میکروالکترونیک سیلیکونی | میکروالکترونیک سیلیکونی | میکروپیزوالکتریک |

### ۳-۴- شرکت کونیکا[1]

تمرکز این شرکت بیشتر بر روی هدهای مناسب برای چاپ بر روی پارچه است هر چند که بعضی از هدهای آن مانند KM1024i برای چاپ سرامیک و لیبل نیز مناسب است. ویژگی هدهای مناسب برای چاپ بر روی پارچه عرض چاپ زیاد و سرعت بسیار بالاست. در جدول ۴ تعدادی از ویژگی‌های هدهای 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 لایه‌های الکترونیکی ادوات اپتوالکترونیکی مانند دیودهای نورتاب آلی، سلول‌های خورشیدی و نمایشگرها به بازار معرفی کرده است [۳۳].

### ۳-۵- شرکت تریدنت[2]

این شرکت یکی دیگر از تولیدکنندگان هدهای چاپگر جوهرافشان به شمار می‌رود. بیشتر هدهای تولیدی این شرکت در چاپگرهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هندسه قرارگیری پیزوالکتریک در این هدها به صورت فشاری است. هد از فولاد ضدزنگ ساخته شده است که مقاومت خوبی در مقابل خوردگی و محیط‌های اسیدی و بازی از خود نشان می‌دهد. گرانروی جوهر مورد استفاده در این هدها می‌تواند تا سقف ۳۰cP باشد. از آنجاییکه هدهای تریدنت بسیار مقاوم می باشند برای چاپ ادوات اپتوالکترونیک استفاده می شوند.

اجزا هدهای تریدنت به راحتی از یکدیگر جدا می‌شوند و به همین دلیل بسیاری از مشکلات احتمالی که برای آن‌ها به وجود می‌آید توسط کاربر آن قابل حل است. این ویژگی یکی از مهم‌ترین مزایای این نوع از هدها به شمار می‌رود. در جدول ۵ تعدادی از ویژگی‌های چند نوع مختلف از هدهای تریدنت با یکدیگر مقایسه می‌شوند [۳۴، ۳۵]. جدول ۶ به طور خلاصه ویژگی‌های هدهای متفاوتی که توسط تولیدکنندگان مختلف تولید شده‌اند را نشان می‌دهد.

[1] Konica
[2] Trident

*جدول ۴- مقایسه ویژگی‌های انواع مختلف هد ساخت شرکت کونیکا [۳۳].*

| ویژگی فیزیکی | واحد | KM1024i | KM1024 | KM512 | KM1008i | KM128SNG MB |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد نازل | - | ۱۰۲۴ | ۱۰۲۴ | ۵۱۲ | ۱۷۷۶ | ۱۲۸ |
| تعداد ردیف نازل | - | ۳۶۰ | ۵۱۲ | ۲۵۶ | ۲۹۶ | ۱۲۸ |
| تعداد نازل در واحد اینچ | dpi | ۳۶۰ | ۳۶۰ | ۳۶۰ | ۶۰۰ | ۶۰۰ |
| اندازه قطره | pL | ۱۳ | ۶، ۱۴، ۴۲ | ۱۴، ۳۵، ۴۲ | ۳/۵ | ۱ |
| گرانروی جوهر | cP | وابسته به جوهر | وابسته به جوهر | وابسته به جوهر | وابسته به جوهر | وابسته به جوهر |
| نوع جوهر | - | پایه روغنی، حلالی، تابش‌پز | پایه روغنی، حلالی، تابش‌پز | پایه روغنی، حلالی، تابش‌پز | تابش‌پز و حلالی | پایه روغنی، حلالی، تابش‌پز |
| وزن هد | g | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۹۵ | <۲۰۵ | ۵۵ |
| ابعاد | mm | ۹۴ ×۱۸ ×۱۳۱ | ۸۹ ×۱۸ ×۱۳۱ | ۶۳ ×۴۰ ×۶۷ | ۱۰۶×۱۹×۱۳۷ | ۶۷×۴۰×۷۰ |
| عرض چاپ | mm | ۷۲ | ۷۲ | ۳۶/۱ | ۷۲ | ۳۸ |

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

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

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 | ۱۲۰۰-۶۰۰ | 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

در این مقاله به بررسی فناوری چاپ جوهرافشان و کاربرد هدهای پیزوالکتریک در این فناوری پرداخته شد. در هدهای پیزو الکتریک، هندسه های مختلفی از ماده پیزوالکتریک به کار می‌رود که هرکدام برای کاربرد و هدف ویژه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین آخرین فناوری‌های مربوط به شرکت‌های تولید کننده هدهای پیزوالکتریک نیز مورد بررسی قرار گرفت. تحقیقات نشان می‌دهد که هر چه حجم قطره کوچک‌تر باشد چاپ با کیفیت بالاتری انجام می شود، به همین دلیل و در جهت افزایش کیفیت مستمر چاپ با چاپگرهای جوهرافشان قطر نازل های هد چاپگر به سرعت رو به کوچک‌تر شدن می باشد. 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.

## ۵- مراجع


۱. ا. پاکزاد، مرضیه خطیب زاده ،"چاپ انتقالی در صنعت نساجی"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ. ۵، ۱۰۴-۹۳، **۱۳۹۴**.

2. S. Magdassi, "*The chemistry of inkjet inks*". World scientific, Singapore, **2010**.

۳. 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، ۲۶-۱۵ ، **۱۳۹۷**.

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, 1**989**.
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 Grayscal 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/ ab 2b452bf81792490243c06f0ca91f6560c34bef/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


.۱