



# A Study of Kerf Geometry in Abrasive Water Jet Cutting of Aluminum 7075 Alloy



## ARTICLE INFO

### Authors

Karimi Shamsabadi Z.<sup>1\*</sup>,  
Foorginejad A.<sup>1</sup>,  
Farsad S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering,  
Birjand University of Technology,  
Birjand, Iran.

### \* Correspondence

Address: Birjand University of  
Technology, Sanat Va Madan Blvd.,  
Birjand, Iran  
Zahra.k375@gmail.com

### How to cite this article

Karimi Shamsabadi Z, Foorginejad A,  
Farsad S. A Study of Kerf Geometry in  
Abrasive Water Jet Cutting of Aluminum  
7075 Alloy. Modares Mechanical  
Engineering. Proceedings of 2<sup>nd</sup> Iranian  
National Conference on Advanced  
Machining and Machine Tools (CAMMT).  
2022;22(10):31-136.

## ABSTRACT

abrasive water jet is one of the most popular cutting methods today due to its ability and unique features such as the ability to cut complex shapes as well as the wide range of materials and non - creation of thermal distortion at the cutting site. The accuracy of the process is mainly due to selecting the cutting parameters. The sheet used in this study is aluminum 7075 with a thickness of 25 mm. In this research, for water jet pressure, forward speed and nozzle distance to the surface of the workpiece, three surfaces and for the impingement angle of two surfaces were considered. In order to investigate the quality of the cut - off area, the effect of process parameters on the high and low width of the cut section and also the cut - surface slope is investigated. Finally, the cut gap created by this process has special geometrical features that in some cases is the limitation of the process. The results showed that the change in the direction of the water jet from the perpendicular to the surface of the work piece, although the width of the cutting crack cannot be changed, the surface quality decreases and the cutting surface slope increases.

**Keywords** Abrasive water jet, kerf, Al7075

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.  
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۳۱-۱۳۶.



## بررسی تجربی مشخصه‌های هندسی شکاف برش در برش کاری آلایژ آلومینیوم ۷۰۷۵ با استفاده از برش جت آب همراه با ذرات ساینده



## چکیده

فرآیند جت آب ساینده، امروزه به دلیل قابلیت‌ها و ویژگی‌های منحصر بفردی که دارد از جمله: توانایی برش اشکال پیچیده و همچنین برش طیف گسترده‌ای از مواد و عدم ایجاد اعوجاج حرارتی در محل برش، به یکی از روش‌های برش‌کاری محبوب تبدیل شده است. دقت قطعات ساخته شده توسط این فناوری عمدتاً به انتخاب پارامترهای برش بستگی دارد. پارامترهای فرآیند در نظر گرفته شده در این آزمایش شامل، فشار جت آب، سرعت پیشروی، فاصله نازل تا سطح قطعه کار و زاویه برخورد جت می‌باشد. ورق مورد استفاده در این مطالعه آلومینیوم ۷۰۷۵ با ضخامت ۲۵ میلی‌متر است. در این پژوهش برای فشار جت آب، سرعت پیشروی و فاصله نازل تا سطح قطعه کار هرکدام سه سطح و برای زاویه برخورد جت دو سطح در نظر گرفته شد. همچنین به منظور بررسی کیفیت سطح برش خورده ورق، به بررسی تأثیر پارامترهای فرآیند، بر روی عرض بالا و پایین بخش برش خورده قطعه و همچنین شیب سطح برش خورده، پرداخته شده است. پس از انجام آزمایش‌ها در نهایت شکاف برش ایجاد شده با این فرآیند از ویژگی‌های هندسی خاصی برخوردار بوده که در برخی موارد از محدودیت‌های فرآیند محسوب می‌شود. نتایج نشان داد تغییر جهت جت آب از وضعیت عمود بر سطح قطعه کار، با وجود اینکه عرض بالای شکاف برش تغییر محسوس نمی‌کند، کیفیت سطح برش خورده را کاهش داده و شیب سطح برش افزایش می‌یابد.

## مشخصات مقاله

### نویسنده‌ها

زهرا کریمی شمس آبادی<sup>۱\*</sup>  
ابوالفضل فورگی نژاد<sup>۲</sup>  
سعید فرساد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه  
مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی  
بیرجند، بیرجند

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک،  
دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند

### \* نویسنده مسئول

آدرس: بیرجند، بلوار صنعت و معدن،  
دانشگاه صنعتی بیرجند  
Zahra.k375@gmail.com

**کلیدواژه‌ها** برش جت آب ساینده، شکاف برش، آلومینیوم ۷۰۷۵

## ۱- مقدمه

برش جت آب توسط دکتر نرمن فزانز در سال ۱۹۶۸ برای برش چوب و ساخت مبلمان استفاده گردید<sup>[1]</sup>. دقت و ظرافت برش-های ایجاد شده باعث گردید برای برش پلاستیک ها و کامپوزیت ها در صنایع هوایی این فناوری به سرعت توسعه یابد. با افزودن ذرات ساینده عملکرد جت آب در برش فلزات به شکل قابل توجهی بهبود یافت. فعالیت‌های تحقیقاتی انجام شده توسط محمد حشیش بر روی ذرات ساینده و جت آب باعث گردید توانایی این روش در برش مواد سخت برش بهبود یافته و برش انواع فلزات، سرامیک‌ها و مواد غیرفلزی توسط این روش امکان-پذیر است<sup>[2]</sup>. مانند هر فرآیند ماشین‌کاری، عملکرد فرآیند برش جت آب همراه با ذرات ساینده، تحت تأثیر متغیرهای عملیاتی و خواص مواد قرار می‌گیرد. در میان این پارامترها، متغیرهای عملیاتی را می‌توان در طول فرآیند برش کنترل کرد. با این حال، خواص مواد، به دلیل پیچیدگی در طبیعت، ممکن است کنترل نشود. عملکرد برش به طور کلی بر اساس عمق قابل دستیابی برش، عرض شکاف برش، زاویه شکاف برش، زبری سطح، خیاره-بندی سطح و سرعت حذف مواد ارزیابی می‌شود<sup>[3]</sup>.

آلیاژهای آلومینیومی به دلیل نسبت استحکام به وزن استاتیکی بالا، رسانایی حرارتی و الکتریکی بالا، مقاومت در برابر خوردگی و ماشین‌کاری خوب، و عدم انتقال شکل‌پذیر به شکننده، دسته بسیار جذابی از مواد فلزی هستند. به این دلایل، آن‌ها به طور گسترده در صنعت هوانوردی و خودروسازی و در کاربردهای برودتی استفاده می‌شوند. از زمان جنگ جهانی دوم، آلیاژهای مختلف آلومینیوم با قابلیت عملیات حرارتی، یعنی سری های، ۲xxx، ۶xxx، ۷xxx و ۸xxx در صنعت هواپیماهای نظامی و غیرنظامی برای دستیابی به خواص مکانیکی بالا توسعه یافته‌اند. به عنوان مثال، سری ۷xxx با روی و منیزیم آلیاژ می‌شوند و می‌توان آن را با سخت‌کاری به بالاترین استحکام در رده آلیاژهای آلومینیم رساند. بنابراین برای ساخت اجزای تحت فشار هواپیما، از قبیل، پوسته‌ها، رشته‌ها، پانل‌ها، قاب‌های بدنه، بال-ها و همچنین دنده‌ها و دهانه‌ها استفاده می‌شوند<sup>[4]</sup>.

برش جت آب همراه با ذرات ساینده یک فناوری منحصر به فرد و مدرن است که امکان برش انواع مختلفی از اشکال پیچیده و طیف گسترده ای از انواع مواد را فراهم می‌کند. علاوه بر این، برخلاف سایر فرآیندهای غیرمتمعارف، شامل افزایش دما نمی‌شود و بنابراین، برش جت آب همراه با ذرات ساینده می‌تواند به عنوان یک فرآیند برش سرد در نظر گرفته شود. دقت قطعات ساخته شده توسط این فناوری عمدتاً به انتخاب پارامترهای برش بستگی دارد که توانایی برش یک جریان ساینده با فشار بالا را شکل می‌دهند. به طور کلی، این روش ماشین‌کاری برای برش مواد استفاده می‌شود. با این حال، محققان همچنین در تلاش

هستند تا با کنترل چهار پارامتر اصلی، یعنی فشار جت، سرعت جریان جرم ساینده، سرعت عبور و فاصله عمودی تا قطعه کار، شرایطی را برای کنترل عمق برش ایجاد کنند<sup>[5]</sup>. عوامل متعددی بر روی هندسه شکاف برش تأثیر می‌گذارد. یکی از مهمترین عوامل که از پارامترهای ورودی فرآیند تأثیر می‌پذیرد، انرژی جنبشی ذرات ساینده در فرآیند برش جت آب همراه با ذرات ساینده است. بطور کلی زمانی براده برداری از ماده توسط ذرات انجام می‌پذیرد، که این انرژی در حدی باشد که قابلیت تخریب ماده را داشته باشد. در طول مسیر برش انرژی جنبشی ذرات ساینده به شکل یکنواخت توزیع نمی‌شود و لذا عدم یکنواختی برش در سطح برش مشاهده می‌شود. در منطقه اولیه برش ذرات از انرژی بالاتری برخوردار بوده لذا سطح برش ضمن برخوردی از کیفیت مناسب، راستای برش را نیز حفظ می‌نماید. با کاهش انرژی جنبشی ذرات ساینده ضمن واگرایی جت آب خطوطی موج‌دار که خیاره نامیده می‌شوند بر روی سطح برش قابل ملاحظه است<sup>[6]</sup>. در اکثر فرآیندهای برش‌کاری کیفیت سطح قطعه برش خورده به عنوان یک مشخصه مهم، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در برش‌کاری جت آب همراه با ذرات ساینده پارامترهای متعدد تأثیرگذاری بر روی کیفیت سطح وجود دارد، که از این میان فشار جت آب، سرعت پیشروی، فاصله نازل تا سطح قطعه‌کار و زاویه برخورد جت جز پارامترهای قابل کنترل محسوب گردیده که امکان کنترل دقیق آن‌ها وجود دارد. در مقاله حاضر به منظور بررسی کیفیت سطح برش خورده به بررسی تأثیر پارامترهای فرآیند جت آب همراه با ذرات ساینده، بر روی عرض بالا و پایین بخش قطعه برش خورده و همچنین شیب سطح برش خورده پرداخته می‌شود.

## ۲- شکاف برش

شکاف برش از مشخصه‌های متفاوتی برخوردار است. عمده این ویژگی‌ها به تغییرات هندسی در شکاف برش ارتباط دارد که مهمترین آن‌ها عبارت از شیب شکاف برش، عرض شکاف و عمق می‌باشند. سطح برش خورده نیز از دو منظر زبری سطح و خیاره‌ها (striation) می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. در مقاله حاضر مشخصه‌های هندسی شکاف برش در برش‌کاری آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ مورد بررسی قرار گرفته است. همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است با افزایش عمق برش با توجه به اینکه انرژی جنبشی ذرات ساینده تحلیل رفته است نفوذ جت آب همراه با ذرات ساینده کاسته شده و شیب دیواره بوجود آمده است.

جدول ۱) ترکیب شیمیایی بدست آمده از آزمایش کوانتومتری

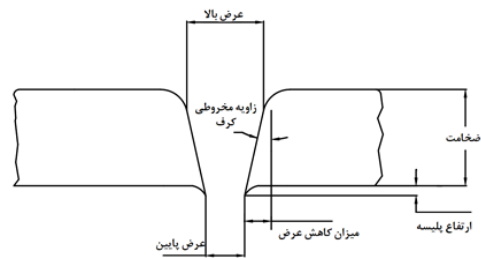
عنصر	اثر ۱	اثر ۲	میانگین %
سیلیسیم	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
آهن	۰/۲۰۱	۰/۱۶۷	۰/۱۸۴
مس	۱/۳۴۰	۱/۳۹۹	۱/۳۷۰
منگنز	۰/۰۶۶	۰/۰۵۱	۰/۰۵۹
منیزیم	۲/۳۲۳	۲/۲۶۴	۲/۲۹۴
کروم	۰/۲۲۳	۰/۱۸۴	۰/۲۰۴
روی	۵/۴۴۶	۵/۴۴۷	۵/۴۴۷
نیکل	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تیتانیوم	۰/۰۳۷	۰/۰۳۶	۰/۰۳۷
سرب	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
قلع	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
وانادیم	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵
زیرکونیوم	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸
استرانسیم	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
نقره	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
بریلیوم	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
کلسیم	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
کادمیم	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
کبالت	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
گالیم	۰/۰۱۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱
آنتیموان	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
بور	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
بیسموت	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
آلومینیوم	۹۰/۳۱۹	۹۰/۴۱۲	۹۰/۳۶۶

### ۳-۲- طراحی آزمایش و رویه انجام

برای انجام آزمایش از دستگاه برش کاری جت آب همراه با ذرات ساینده یونگدا (Yongda) ساخت کشور چین که از پمپ ارتی (Erti) ساخت کشور آمریکا بهره می‌برد، استفاده شده است. پارامترهای فرآیند در نظر گرفته شده در آزمایش شامل، فشار جت آب، سرعت پیشروی، فاصله نازل تا سطح قطعه کار و زاویه برخورد جت می‌باشد. در این پژوهش برای فشار جت آب، سرعت پیشروی و فاصله نازل تا سطح قطعه کار هرکدام سه سطح و برای زاویه برخورد جت دو سطح در نظر گرفته شد. برای ایجاد شکاف‌های برش از قطعه‌ای از جنس آلومینیوم ۷۰۷۵ با ابعاد ۳۵۰ در ۱۵۰ با ضخامت ۲۵ میلی‌متر استفاده گردید. در شکل ۲ قطعه مذکور حین ایجاد شکاف‌های برش نشان داده شده است.



شکل ۲) قطعه کار به همراه شکاف‌های برش



شکل ۱) مشخصه‌های شکاف برش

آزمایش‌هایی که ونگ [7] انجام داد، نشان داد افزایش فاصله نازل تا قطعه کار، افزایش شیب سطح برش خورده را در پی خواهد داشت. زمانی که انرژی جت آب برای نفوذ به داخل قطعه کار کاهش می‌یابد، دیواره بیرونی جت که واگرا نیز گردیده، دیگر از توان لازم برای برش موثر برخوردار نیست. به همین دلیل با افزایش فاصله نازل تا سطح شیب سطح برش خورده را افزایش می‌یابد [8]. بالا بردن فشار جت آب به شکل موثری می‌تواند باعث کاهش شیب سطح برش خورده گردد. این موضوع بدلیل افزایش انرژی جنبشی ذرات ساینده اتفاق افتاده و برش کاری با سهولت بیشتری صورت می‌پذیرد [9]. یکی دیگر از پارامترهای موثر بر روی مشخصه‌های هندسی شکاف برش، سرعت حرکت نازل است. با افزایش سرعت نازل، بدلیل اینکه مدت زمانی که قطعه در معرض برش جت آب همراه با ذرات ساینده قرار می‌گیرد، کاهش می‌یابد، شیب سطح برش خورده افزایش می‌یابد [10].

### ۳- آزمایش‌های تجربی

#### ۳-۱- جنس قطعه کار

آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ از مهم ترین آلیاژهای با استحکام بالا به شمار می‌رود که به صورت گسترده برای ساخت اجزای مختلف مرتبط با برش فلزات در صنایع هوافضا، دفاعی و نظامی به کار می‌رود. یکی از فرآیندهای پیشرفته برش کاری، فرآیند برش با جت آب به همراه ذرات ساینده است که با برخورد کردن از مزایای متعدد مانند اعمال نیروی برش کاری بسیار کم بدون داشتن تماس مکانیکی با قطعه و ماشین، سرد بودن فرآیند و در نتیجه فاقد هر گونه تنش حرارتی، دقت هندسی مطلوب و عدم حساسیت به خصوصیات هندسی و جنس، می‌توان از آن در برش کاری آلیاژهای آلومینیوم استفاده نمود و لذا بررسی خصوصیات هندسه شکاف برش در برش کاری با جت آب همراه با ذرات ساینده و مطالعه بر روی آن در آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به منظور بررسی ویژگی‌های هندسه شکاف برش نمونه‌های آلیاژ آلومینیومی با ضخامت ۲۵ میلی‌متر با استفاده از فرآیند برش کاری جت آب همراه با ذرات ساینده برش کاری گردیدند. جدول ۱ ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ بکار گرفته شده را که با آزمایش کوانتومتری بدست آمده است را نشان می‌دهد.

به منظور تغییر جهت برخورد جت با سطح قطعه کار، زاویه نازل نسبت به سطح افق در حالت پیشرو در زاویه ۸۰ درجه تنظیم گردید که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳) تنظیم زاویه برخورد جت آب

در حالت فاکتوریل کامل، برای انجام یک آزمایش با سه متغیر سه سطحی و یک متغیر دو سطحی، چنانچه تمام حالت‌های موجود بررسی شود باید ۵۴ آزمایش انجام گیرد. جدول ۲ پارامترهای بررسی شده در آزمایش و همچنین سایر مقادیر ثابت را نشان می‌دهد. جدول ۳ طراحی آزمایش انجام شده را نشان می‌دهد.

#### ۴- بحث و نتایج

در این پژوهش، از فرآیند جت آب همراه با ذرات ساینده برای برشکاری آلایژ آلومینیوم ۷۰۷۵ استفاده گردید. در این پژوهش تلاش بر این بود که ویژگی‌های هندسی شکاف برش از قبیل عرض بالای شکاف برش، عرض پایین شکاف برش و شیب شکاف برش مورد بررسی تجربی قرار گیرد. پارامترهای قابل کنترلی که تاثیر آن‌ها بر روی هندسه شکاف برش ارزیابی گردید فشار جت آب، سرعت پیشروی، زاویه برخورد جت و فاصله نازل تا سطح قطعه کار بودند. پارامترهای فشار جت آب، سرعت پیشروی و فاصله نازل تا سطح قطعه کار در سه سطح توسط ماشین کنترل می‌شدند و پارامتر زاویه برخورد جت به شکل دستی با تغییر زاویه نازل تنظیم شد. عرض بالای شکاف و عرض پایین شکاف با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر در سه نقطه مختلف از شکاف اندازه‌گیری شد. شیب شکاف برش از رابطه (۱) بدست آمد. نتایج بدست آمده در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲) سطوح پارامترهای آزمایش

پارامترهای فرآیند	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
فشار جت آب P (MPa)	۲۲۰۰	۲۴۰۰	۲۶۰۰
سرعت پیشروی V (mm/min)	۵۰	۶۰	۷۰
فاصله نازل تا سطح قطعه کار d(mm)	۱	۲	۳
زاویه برخورد جت آب A(degree)	۸۰	۹۰	---

جدول ۳) طراحی آزمایش استفاده شده

شماره آزمایش	زاویه برخورد جت A(degree)	فاصله نازل تا سطح قطعه کار d(mm)	فشار (MPa)	سرعت پیشروی V(mm/min)
1	80	1	220	50
2	80	1	220	60
3	80	1	220	70
4	80	1	240	50
5	80	1	240	60
6	80	1	240	70
7	80	1	260	50
8	80	1	260	60
9	80	1	260	70
10	80	2	220	50
11	80	2	220	60
12	80	2	220	70
13	80	2	240	50
14	80	2	240	60
15	80	2	240	70
16	80	2	260	50
17	80	2	260	60
18	80	2	260	70
19	80	3	220	50
20	80	3	220	60
21	80	3	220	70
22	80	3	240	50
23	80	3	240	60
24	80	3	240	70
25	80	3	260	50
26	80	3	260	60
27	80	3	260	70
28	90	1	220	50
29	90	1	220	60
30	90	1	220	70
31	90	1	240	50
32	90	1	240	60
33	90	1	240	70
34	90	1	260	50
35	90	1	260	60
36	90	1	260	70
37	90	2	220	50
38	90	2	220	60
39	90	2	220	70
40	90	2	240	50
41	90	2	240	60
42	90	2	240	70
43	90	2	260	50
44	90	2	260	60
45	90	2	260	70
46	90	3	220	50
47	90	3	220	60
48	90	3	220	70
49	90	3	240	50
50	90	3	240	60
51	90	3	240	70
52	90	3	260	50
53	90	3	260	60
54	90	3	260	70

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{W_t - W_b}{2t_n} \right) \quad (1)$$

$W_t$  عرض بالای شکاف برش،  $W_b$  عرض پایین شکاف برش و  $t_n$  ضخامت ماده برش خورده به صورت کامل و  $\theta$  شیب شیار است.

جدول ۴) نتایج آزمایش

ردیف	عرض بالای شکاف برش (mm)	عرض پایین شکاف برش (mm)	شیب سطح (degree)
1	1.02	0.9	0.137509373
2	1	0.89	0.126050297
3	0.99	0.9	0.103132116
4	1.04	0.96	0.091673013
5	1.02	0.83	0.217722544
6	1.02	0.86	0.183345557
7	1.03	0.97	0.068754785
8	1.02	0.93	0.103132116
9	1.02	0.91	0.126050297
10	1.05	0.93	0.137509373
11	1.03	0.87	0.183345557
12	1.03	0.82	0.240640449
13	1.07	0.92	0.17188653
14	1.07	0.93	0.16042749
15	1.04	0.9	0.16042749
16	1.07	0.95	0.137509373
17	1.07	0.88	0.217722544
18	1.07	0.9	0.194804568
19	1.09	0.92	0.194804568
20	1.06	0.91	0.17188653
21	1.05	0.9	0.17188653
22	1.1	0.98	0.137509373
23	1.09	0.92	0.194804568
24	1.08	0.89	0.217722544
25	1.1	0.96	0.16042749
26	1.09	0.89	0.229181506
27	1.08	0.89	0.217722544
28	1.04	0.95	0.103132116
29	1.02	0.92	0.114591211
30	1.02	0.94	0.091673013
31	1.04	0.93	0.126050297
32	1.02	0.91	0.126050297
33	1.04	0.92	0.137509373
34	1.04	0.97	0.080213902
35	1.05	0.91	0.16042749
36	1.03	0.87	0.183345557
37	1.05	0.94	0.126050297
38	1.05	0.95	0.114591211
39	1.04	0.9	0.16042749
40	1.07	0.98	0.103132116
41	1.07	0.95	0.137509373
42	1.04	0.94	0.114591211
43	1.08	1	0.091673013
44	1.05	0.94	0.126050297
45	1.04	0.89	0.17188653
46	1.07	0.93	0.16042749
47	1.05	0.9	0.17188653
48	1.04	0.84	0.229181506
49	1.09	0.97	0.137509373
50	1.07	0.97	0.114591211
51	1.05	0.91	0.16042749
52	1.08	0.98	0.114591211
53	1.09	0.96	0.148968438
54	1.06	0.95	0.126050297

در زاویه برخورد جت ۹۰ درجه میانگین شیب بدست آمده برابر با ۰/۱۳۴۵ درجه است که این شیب برای زاویه برخورد جت ۸۰ درجه

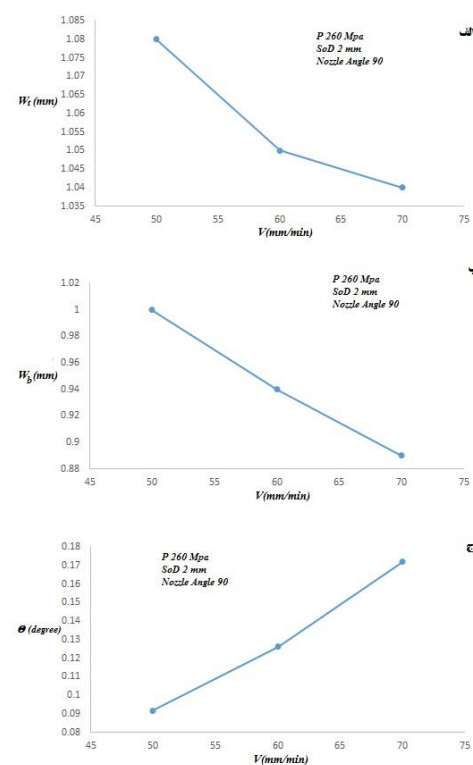
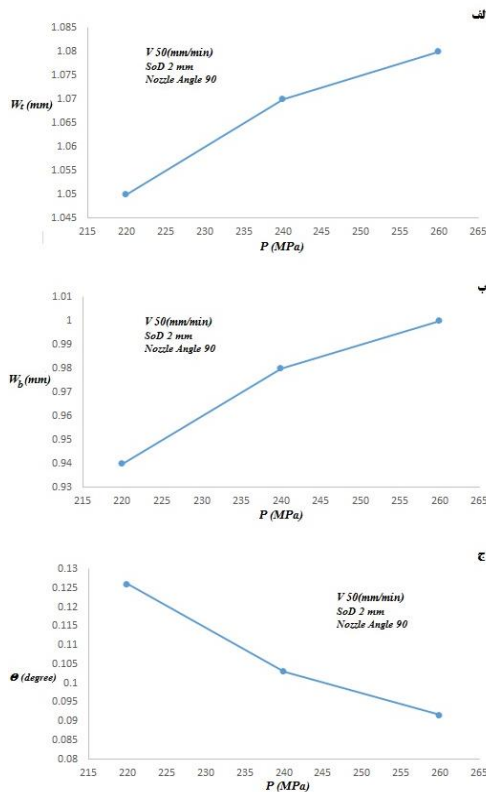
۰/۱۶۷۷ درجه بدست آمد. بدلیل تغییر زاویه جت، ذرات باید مسیر بیشتری را برای برش قطعه بپیمایند که در نتیجه آن انرژی جنبشی ذرات کاهش یافته و شیب سطح برش خورده افزایش یافته است. میانگین عرض بالای شکاف برش در زاویه برخورد جت ۸۰ برابر با ۱/۰۵۱۸ میلی‌متر بدست آمد که همین مقدار برای زاویه برخورد ۹۰ درجه برابر با ۱/۰۵۱۵ میلی‌متر بدست آمد که نشان می‌دهد در لحظه برخورد جت با سطح، تغییر زاویه تغییرات چندانی ایجاد نکرده است، همچنین میانگین عرض پایین شکاف برش در زاویه برخورد جت ۸۰ درجه ۰/۹۰۷۸ میلی‌متر بدست آمد که در مقایسه با مقدار بدست آمده برای زاویه برخورد ۹۰ درجه که میانگین آن برابر با ۰/۹۳۴۱ میلی‌متر است شکاف با عرض کوچکتری ایجاد شده که نشان می‌دهد ذرات در زاویه برخورد ۸۰ درجه از انرژی برشی لازم برای حفظ راستای برش برخوردار نبوده‌اند.

با افزایش سرعت پیشروی همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است بدلیل اینکه نازل با سرعت بیشتری از مقابل سطح قطعه کار عبور می‌کند زمان براده برداری توسط ذرات کاهش می‌یابد و عرض شکاف برش در بالا و پایین کاهش می‌یابد. از طرف دیگر بدلیل سرعت بالای حرکت نازل ذرات زمان و انرژی لازم برای ایجاد یک شکاف برش یکنواخت را نداشته و در نتیجه شیب سطح برش خورده افزایش می‌یابد. فشار از جمله پارامترهای تاثیرگذار بر روی ویژگی‌های هندسی شکاف برش است که با افزایش آن همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است شکاف برش به شکل یکنواختی بریده شده و زاویه سطح برش کاهش می‌یابد. عرض برش در نواحی بالا و پایین نیز با افزایش فشار و افزایش انرژی ذرات ساییده کاهش می‌یابد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

یکی از فرآیندهای پیشرفته‌ای که برای برش مواد استفاده می‌شود برش با کمک جت آب است که همراه کردن ذرات ساییده به جت آب ظرفیت برش فرآیند را به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. شکاف برش ایجاد شده با این فرآیند از ویژگی‌های هندسی خاصی برخوردار بوده که در برخی موارد از محدودیت‌های فرآیند محسوب می‌شود در پژوهش حاضر عرض بالا و پایین شکاف برش و شیب سطح برش خورده در برش آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ مطالعه گردید. نتایج نشان داد تغییر جهت جت آب از وضعیت عمود بر سطح قطعه کار، با وجود اینکه عرض بالای شکاف برش تغییر محسوسی نمی‌کند، کیفیت سطح برش خورده را کاهش داده و شیب سطح برش افزایش می‌یابد. همچنین افزایش فشار در نرخ پیشروی کم نازل باعث می‌شود عرض شکاف شیار دچار کمترین تغییرات گردیده و شیب سطح شکاف





شکل ۵ (الف) تغییرات عرض بالای شکاف برش در اثر سرعت پیشروی (ب) تغییرات عرض پایین شکاف برش در اثر سرعت پیشروی (ج) تغییرات شیب سطح برش خورده در اثر سرعت پیشروی

شکل ۴ (الف) تغییرات عرض بالای شکاف برش در اثر سرعت پیشروی (ب) تغییرات عرض پایین شکاف برش در سرعت پیشروی (ج) تغییرات شیب سطح برش خورده در اثر سرعت پیشروی

4- Benedetti M, Menapace C, Fontanari V, Santus C. On the variability in static and cyclic mechanical properties of extruded 7075-T6 aluminum alloy. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 2021 Nov;44(11):2975-89.

5- Karmiris-Obratański P, Karkalos NE, Kudelski R, Papazoglou EL, Markopoulos AP. On the Effect of Multiple Passes on Kerf Characteristics and Efficiency of Abrasive Waterjet Cutting. *Metals*. 2021 Jan 1;11(1):74.

6- Chen FL, Wang J, Lemma E, Siores E. Striation formation mechanisms on the jet cutting surface. *Journal of Materials Processing Technology*. 2003 Oct 20;141(2):213-8.

7- J. Wang, "A machinability study of polymer matrix composite using abrasive water jet cutting technology", *Journal of Materials Proceeding Technology*, Vol. 94(1), p. 30-35, 1999.

8- Wang J, Wong WC. A study of abrasive waterjet cutting of metallic coated sheet steels. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1999 Jun 1;39(6):855-70.

9- Hocheng H, Chang KR. Material removal analysis in abrasive waterjet cutting of ceramic plates. *Journal of Materials Processing Technology*. 1994 Jan 1;40(3-4):287-304.

10- Arola D, Ramulu M. A study of kerf characteristics in abrasive waterjet machining of graphite/epoxy composite.

برش کاهش یابد. با افزایش سرعت پیشروی عرض بالا و پایین شکاف برش کاهش یافته و شیب سطح برش خورده افزایش می یابد.

**تاییدیه اخلاقی:** نتایج منتشر شده در این مقاله، به شکل کامل از تحقیقات انجام شده توسط نویسندگان بدست آمده است.  
**تعارض منافع:** نویسندگان اعلام می کنند که هیچ منافع مالی رقیب یا روابط شخصی شناخته شده ای ندارند که به نظر برسد بر کار گزارش شده در این مقاله تاثیر بگذارد.  
 منابع مالی: این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی از سازمان های تأمین مالی در بخش های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

### مراجع

1- Birtu C, Avramescu V. Abrasive water jet cutting-technique, equipment, performances. *Revista de Tehnologii Neconventionale*. 2012 Mar 1;16(1):40.

2- Marcu IL, Ciupan C. Alternating Flow Hydraulic Generator for Water Jet Cutting Systems. *Hidraulica*. 2016(1):61.

3- Karakurt I, Aydin G, Aydiner K. A study on the prediction of kerf angle in abrasive waterjet machining of rocks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2012 Sep;226(9):1489-99.