

# بررسی و نحوه عملکرد فناوری اسکن سه بعدی با لیزر در تهیه نقشه‌های ازبیلت صنعتی

معین‌الدین محمودی<sup>۱</sup>، محمد صدیق<sup>۲</sup>

۱ دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تهران، moienmahmoudi@yahoo.com

۲ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۵

## چکیده

در صنایع مختلف همچون پالایشگاهی، نفت، فولاد، ساختمان سازی و جز این‌ها، پس از اتمام هر پروژه و احداث و تأسیس واحدهای صنعتی، به‌طور معمول کارفرمایان از پیمانکاران تقاضای نقشه‌های ازبیلت یا چون‌ساخت می‌کنند. هدف از تهیه این مدارک این است که کارفرما پس از اتمام پروژه، نقشه نهایی و اجراشده را در دست داشته باشد تا چنانچه لازم شد، تغییراتی در تأسیسات و تجهیزات، پایپینگ، تجهیزات ثابت صنعتی، پست‌های برق، خطوط انتقال آب و جز این‌ها بدهند و یا اگر به تعویض و تعمیرات نیاز بود، نقشه نهایی را داشته باشند و مطابق با آن، پروژه جدید طراحی و اجرا شود. از جمله روش‌های تهیه ازبیلت استفاده از نیروهای متخصص نقشه‌بردار است که پس از اتمام پروژه به درخواست پیمانکار در سایت حضور می‌یابند و شروع به اندازه‌گیری و در نهایت تهیه نقشه‌های صنعتی می‌کنند. در کشورهای صنعتی پیشرفته همچون آلمان روشی نو ارائه شده است که تهیه این نقشه‌ها تنها توسط یک دستگاه اسکن لیزری انجام می‌شود. این روش که از روش‌های رایج بسیار سریع‌تر، ارزان‌تر، کم‌خطرتر است و با دقت بالایی انجام می‌شود. در این مقاله این فناوری نو به‌صورت کامل بررسی می‌شود.

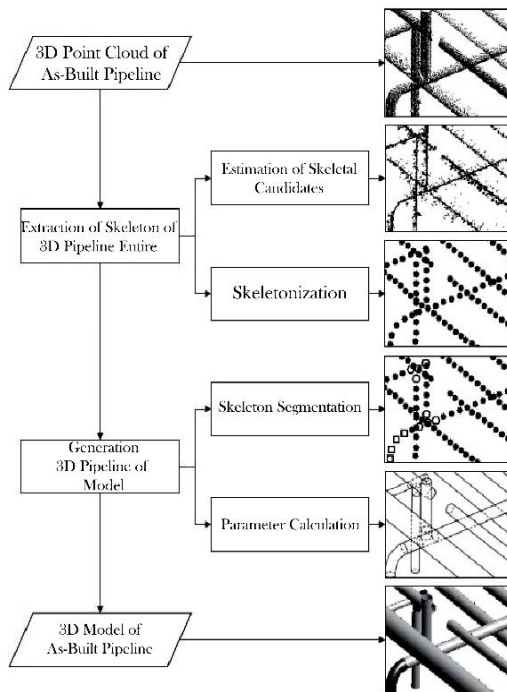
**واژگان کلیدی:** ازبیلت<sup>۱</sup> صنعتی، اسکن سه‌بعدی، اسکن لیزری، نقشه‌برداری

## ۱. مقدمه

طریق پالس‌های الکتریکی منتقل می‌شوند. علاوه بر دقت بالا و خطای بسیار کم ۱ تا ۲ میلی‌متر می‌تواند این فرایند را در ۱:۱۰ به انجام برساند؛ یعنی در کمتر از ۱ روز کلیه تجهیزات یک پلت فرم صنعتی (مانند پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌های برقی و گازی) را اسکن کرده و در ۱۰ روز عمل مدلینگ و نقشه‌گیری انجام دهد. این فناوری با توانایی ثبت ۱۰۰۰۰۰۰۰ دستگاه مختصاتی در هر ثانیه می‌تواند تمامی تجهیزات را با سرعت و دقت بالا و با کیفیت مطلوبی اسکن و پردازش کند. تجهیزاتی که در ارتفاعات

از سال ۲۰۰۳ م، شرکت آلمانی اسکن‌تک<sup>۲</sup> با استفاده از ابزار اندازه‌گیری لیزر در تهیه نقشه‌ها، خطوط لوله و پلت‌فرم‌های صنعتی شروع به فعالیت نموده است. این ابزار برای اندازه‌گیری و تهیه نقشه‌های ازبیلت با سرعت و دقت بالا استفاده می‌شود و می‌توان از آن برای جمع‌آوری مستندات و نقشه‌ها به شکل مطلوبی بهره برد. این فناوری امکان اسکن ۳۶۰ درجه در راستای افقی و ۳۱۰ درجه در راستای عمودی را دارد. داده‌های اسکن‌شده توسط دوربین‌ها و حسگرهای موجود در سیستم از

امواج لیزر زمانی که از چشمه لیزر آزاد می‌شوند به هر ذره‌ای برخورد کند آن را به صورت یک نقطه در نظر می‌گیرد، یا به اصطلاح از شیوه ابر و نقاط، ذرات را مدل و در سیستم خود ذخیره می‌کند. در نهایت کلیه نقاط را به صورت پیوسته کنار هم قرار می‌دهد تا قطعه شکل بگیرد. این مدل قابلیت اجرا در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز سه‌بعدی مانند اتودسک<sup>۳</sup> و پی. دی. ام. اس.<sup>۴</sup> را ندارد [۵]. در شکل ۲ مراحل تبدیل این فرمت به فرمت قابل اجرا در محیط‌های نرم‌افزاری آورده شده است [۲].



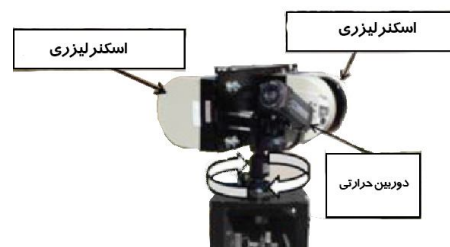
شکل ۲. مراحل تبدیل فایل اسکن شده توسط لیزر سه‌بعدی به فایل قابل اجرا در نرم‌افزارهای سه‌بعدی مانند اتودسک و پی. دی. ام. اس. [۵]

همان‌طور که مشاهده می‌شود، این روند از ۶ مرحله تشکیل شده است [۵]. مرحله اول فرمتی است که توسط دستگاه به صورت ابر و نقاط اسکن شده است. در قسمت بعد از روی ابر و نقاط، نقاط اصلی مدل استخراج شده و ساخت خطوط لوله به شکل سه‌بعدی آغاز می‌گردد، که خود شامل دو مرحله است. در مرحله اول از روی نقاط تشخیص داده شده سیستم یک تخمین موقعیت برای اسکلت قطعه می‌زند. در مرحله دوم درن هایت همه تخمین‌ها به صورت دقیق، مشخص و اسکلت‌سازی اولیه شکل می‌گیرد. طرح‌سازی قطعه در این مرحله شروع می‌شود. قسمت نهایی مدل به صورت سه‌بعدی از روی خطوط لوله مرحله قبل ایجاد می‌شود که شامل دو مرحله است. مرحله

بسیار بالایی قرار دارند با این روش به خوبی قابل اسکن هستند. این دستگاه به طور معمول زمین را به عنوان دستگاه مختصات اصلی در نظر می‌گیرد. در بعضی از مدل‌های پیشرفته‌تر این فناوری، سیستم قادر به تشخیص جنس، انواع شیرهای صنعتی و جز این‌هاست. از این فناوری در پلت‌فرم‌های مختلفی در صنایع گازی، پالایشگاهی، شیمیایی، فولاد و جز این‌ها می‌توان استفاده کرد [۳]. پس از اسکن کامل یک مجموعه به راحتی می‌توان پروژه نهایی را با پروژه طراحی شده مقایسه کرد. همچنین، از این فناوری می‌توان برای طراحی مجدد خطوط زیرزمینی استفاده کرد. به توانایی‌های دیگر این فناوری به طور مختصری اشاره می‌شود: رادارهای اندازه‌گیری در زمین‌شناسی، اندازه‌گیری ارتعاشات پایه، اسکن خطوط زیرزمینی و سیستم‌های برقی و هیدرولیکی با بالاترین سطح کیفیت، استفاده مجدد از اسناد، نمای کلی پلت‌فرم به صورت سه‌بعدی، ایجاد مجموعه‌ای ایزومتریک، اصلاح و طراحی مجدد، نظارت دقیق بر روند ساخت‌وساز، به حداقل رساندن زیان‌های تولید و غیره.

## ۲. شیوه عملکرد

این سیستم، همان‌گونه که در شکل ۱ نمایش داده شده است، شامل دوربین‌ها و حسگرهای متفاوتی است. تعداد و نوع این حسگرها و دوربین‌ها بستگی به این دارد که بخواهیم چه نوع اسکنی انجام شود. گاهی نیاز است جریان‌های سیال با دماهای هر قسمت از خطوط جریان اسکن شود [۸]. گاهی ابعاد در اندازه میکروسکوپی هستند و دقت و پردازش این دوربین‌ها بینهایت اهمیت دارند [۹]. در صنایع مختلف و بستگی به دقت، پارامترها و محل پروژه، نوع این دستگاه مشخص می‌گردد [۲].



شکل ۱. دستگاه اسکن سه‌بعدی با لیزر، دارای دوربین حرارتی که می‌تواند علاوه بر اسکن سه‌بعدی، اسکن حرارتی هم انجام دهد

نحوه عملکرد این دستگاه به این شکل است که ابتدا دوربین‌ها به صورت ۳۶۰ درجه محیط اطراف را اسکن می‌کنند.

پروژه را در نرم‌افزار پی. دی. ام. اس. شبیه‌سازی و طراحی کنند. در شکل ۵ یکی از مدارک Line List به صورت مختصر آورده شده است. به اختصار اشاره می‌شود که مهندسان مدلساز از طریق این مدارک و نقشه‌ها مشخصات هر قسمت پاپینگ را استخراج کرده و در نرم‌افزار مدل کردند. مثلاً عایق‌ها، نوع سیال عبوری از لوله‌ها، شروع و پایان هر لوله و جز این‌ها.

No.	Fluid Index	Serial Number	Size (NPS)	Class	Insulation		Tracing	From	To
					Type	Thk (mm)			
1	CHD	1401	1	2P1	H	30		TK-1402	P-1402A
2	CHD	1402	1	2P1	H	30		TK-1403	P-1402A
3	CHD	1403	1	2P1	H	30		CHD-1401	P-1401B
4	CHD	1404	1	2P1	H	30		CHD-1402	P-1402B
5	CHD	1405	1	2P1	H	30		P-1401A	cooling tower
6	CHD	1406	1	2P1	H	30		P-1401B	cooling tower
7	CHD	1407	1	2P1	H	30		P-1402A	cooling tower
8	CHD	1408	1	2P1	H	30		P-1402B	CHD-1407
9	CHD	1409	1	2P1	H	30		TK-1404	P-1403A
10	CHD	1410	1	2P1	H	30		CHD-1409	P-1403B

شکل ۵. قسمتی از مدارک Line List تهیه شده از نقشه‌های P&ID

در پروژه پلنت اکسیژن فولاد مبارکه اصفهان

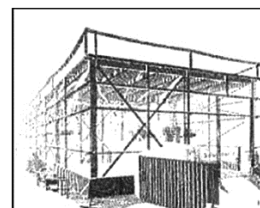
در شکل ۶ نمونه‌ای از مدل شبیه‌سازی شده در PDMS مشاهده می‌شود. در انتها مدل نهایی این پروژه و قطعات و تجهیزاتی که باید ساخته شوند مشخص گردید و نقشه صنعتی آنها تهیه، ساخته و در سایت مربوطه نصب شد (در چنین پروژه‌هایی نزدیک ۸۰ درصد تجهیزات طراحی نمی‌شوند و از کشورهای اروپایی تأمین می‌گردند).

مدلی که در شکل ۶ قسمتی از آن نمازش داده شده است، مدلی است که پیمانکار تصمیم داشته آن را اجرا کند. همان‌طور که اشاره شد، اجرای هر پروژه در صنعت با خطاهایی همراه است. و بیشتر اوقات در زمان اجرای پروژه نقشه‌ها مرتب اصلاح شده و تغییرات زیادی می‌کنند و یا تجهیزاتی که پیمانکار تصمیم داشته‌اند تهیه کنند به دلایلی مجبور به تغییر و یا تعویض می‌گردند و چون ساخت چنین واحدهایی به عهده یک شرکت یا کارگاه نیست، در شیوه ساخت آنها اختلاف‌هایی وجود دارد و یا افرادی که در سایت وظیفه اجرای پروژه را دارند با خطاهایی پروژه را همراه می‌کنند. در نهایت همه این اختلاف‌ها و خطاها در فرایند ساخت و اجرا سبب می‌شود مدلی که به‌طور مثال در شکل ۶ آمده است، با پروژه‌ای که در نهایت در سایت اجرا می‌شود متفاوت باشد. نقشه‌های ازبیلت این پروژه به همان شیوه

اول قطعه‌سازی از روی اسکلت و مرحله دوم انجام محاسبات پارامتری و در نهایت نقشه ازبیلت یا چون ساخت تهیه می‌گردد [۵]. مدلی که در این قسمت از سیستم خروجی گرفته می‌شود، در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز سه‌بعدی به راحتی قابل اجراست [۲] و زمانی که بتوان مدل حقیقی را در سیستم اجرا کرد تهیه نقشه صنعتی انجام‌پذیر خواهد بود [۳]. در شکل‌های ۳ و ۴ دو مدل نمونه نمایش داده شده است.

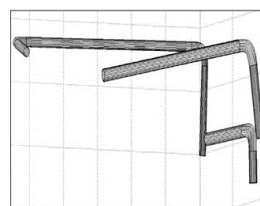


(ب)



(الف)

شکل ۳. نمایی از الف) فایل خام اسکن شده توسط لیزر است، ب) از طریق ابر و نقاط ذرات تشخیص داده شده در قسمت الف، به صورت پیوسته درآمده و قابل تشخیص برای نرم‌افزار است [۳]



(ب)



(الف)

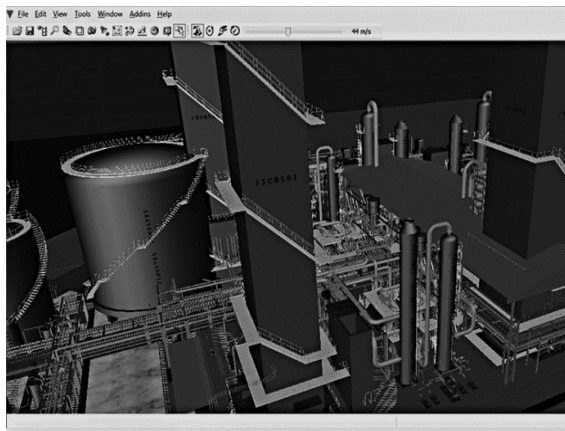
شکل ۴. پس از اسکن پاپینگ در الف) توسط ابر و نقاط تبدیل و در نرم‌افزار اجرا شده است که در قسمت ب) به خوبی قابل تشخیص است [۳]

### ۳. تهیه نقشه ازبیلت در یک پروژه صنعت فولاد

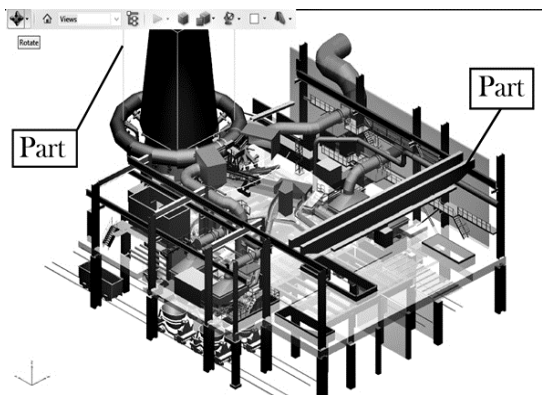
همان‌طور که پیشتر ذکر شد، مدل یا پروژه‌ای که ابتدا طراحی می‌شود در نهایت هنگام ساخت یا موقع اجرا با چیزی که در سیستم طراحی شده است متفاوت خواهد بود. می‌توان با شیوه‌های مختلف و فناوری‌های جدید این اختلاف را به حداقل رساند. اما هیچ‌گاه خطا به صفر نمی‌رسد. مثلاً پروژه پلنت اکسیژن در صنعت فولاد برای شرکت فولاد مبارکه اصفهان را در نظر گرفتیم. پس از تهیه نقشه‌های P&ID توسط مهندسان مکانیک، برق، ابزار دقیق و عمران و نقشه‌های PFD توسط مهندسان فرایند و تهیه مدارکی چون Line List و Valve List، در نهایت مهندسان در مدلسازی توانستند مدل سه‌بعدی کل

اروپا و آسیا از این فناوری استفاده کرده و پروژه‌های بسیاری در صنایع مانند نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و کارخانه‌ها اجرا کرده است.

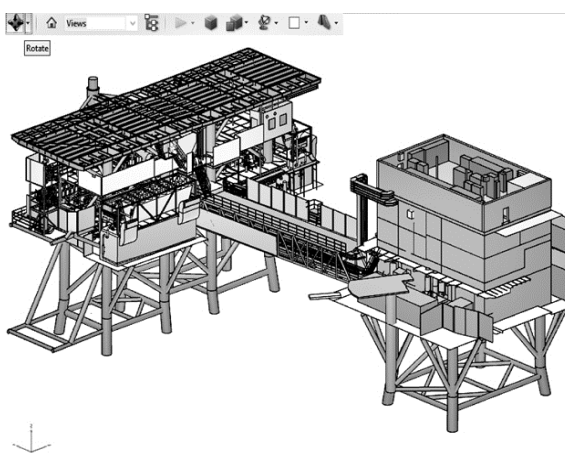
سنتی انجام شد. در شکل‌های ۷ و ۸ دو پروژه نمایش داده شده است. این تصاویر مربوط به کمپانی اسکن تک آلمان است که در



شکل ۶. تهیه فایل سه‌بعدی از نقشه P&ID و Line List توسط نرم‌افزار پی. دی. ام. اس؛ شبیه‌سازی نهایی پلنت اکسیژن



شکل ۷. تبدیل فایل اسکن شده با لیزر از یک کوره صنعتی توسط ابر و نقاط و اجرای نهایی آن پس از تبدیل در نرم‌افزار پی. دی. ام. اس.

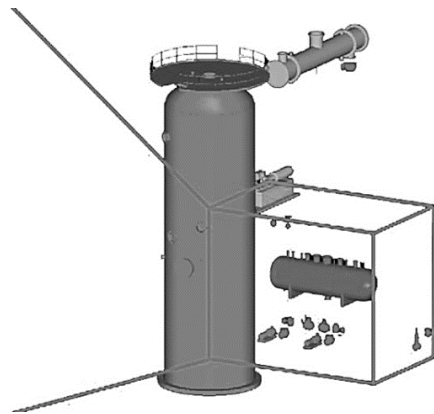


شکل ۸. تبدیل فایل اسکن شده با لیزر از یک Plat Form توسط ابر و نقاط و اجرای نهایی آن پس از تبدیل در نرم‌افزار پی. دی. ام. اس.

می‌توان هر قطعه را جدا کرد و به محیط نقشه‌گیری نرم‌افزار برده و نقشه‌های صنعتی آن را تهیه کرد. هر یک از قطعات

در شکل ۹ مشاهده می‌شود که مدل در نرم‌افزار به خوبی قابل تفکیک و جداسازی است [۱]؛ یعنی یکپارچگی ندارند و

به صورت خودکار تشخیص داده می شود و با رنگی متفاوت از دیگر قطعات قابل رؤیت است. یکی از مهم ترین ویژگی های آن این است که هر کدام از قطعات در محیط نرم افزار به خوبی قابل انتقال هستند که سبب راحتی کاربر می شود [۱].

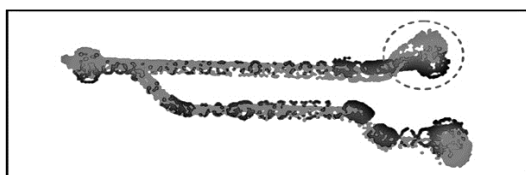


شکل ۹. پس از تبدیل تجهیزات صنعتی به فایل نرم افزاری، هر قطعه به صورت خودکار در نرم افزار جداگانه تشخیص داده می شود و هر کدام به رنگی متفاوت با قطعه دیگر تمیز داده می شوند

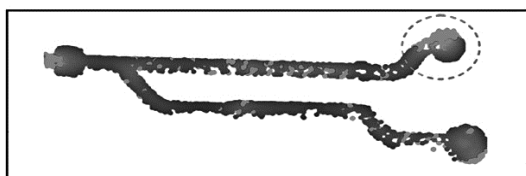
#### ۴. کاربردها در صنایع دیگر

به نقشه های ازبیلت در صنایع مختلفی نیاز است، اما روش اسکن سه بعدی توسط لیزر به تازگی علاوه بر تهیه نقشه های ازبیلت در زمینه های مختلف دیگر هم وارد شده است. نظیر ساخت قطعات حساس صنعتی، اصلاح قطعات، پرداخت سطوح، صنایع هوایی [۷]، صنایع نظامی، ساختمانی [۴] و جز این ها. دقت و سرعت بسیار بالایی که این روش برای اسکن قطعات دارد، سبب شده است تا بتوان از این روش در زمینه های تخصصی دیگر استفاده کرد. مثلاً ایجاد تطابق بین قطعه ساخته شده با قطعه طراحی شده [۳]. در قطعاتی که در صنعت، ابعاد بسیار دقیق و حساسی دارند اگر موقع ساخت کوچک ترین خطایی صورت بگیرد امکان دارد آن قطعه وظیفه خود را در سیستم به درستی انجام ندهد و برای یک مجموعه مشکل ایجاد کند. به همین دلیل نیاز است که در هر مرحله از ساخت، قطعه مورد نظر با مدل طراحی شده تطابق داده شود و خطاها و عیوب آن مشخص و اصلاح شود. در شکل ۱۰ یک نمونه از این روش نمایش داده شده است [۳]. نمونه دیگری که اسکن های لیزری در آن وارد شده اند در بحث نازل های صنعتی مانند نازل های روغن، رنگ، سوخت و جز این هاست در بحث طراحی نازل ها

یکی از مهم ترین عوامل بحث نحوه پاشش، سرعت، زاویه و یکنواختی پاشش است [۶] که این پارامترها اهمیت بسیار بالایی در انتخاب نازل ها هستند. مثلاً اگر نازل های سوخت به خوبی طراحی نشوند و سوخت مورد نظر با زاویه و سرعت و یکنواختی مناسبی پاشش نشود، احتمال خام سوزی، مصرف بالای سوخت و مشکلات دیگر می شود و یا نازل های رنگ اگر موقع پاشش به خوبی کار نکنند و در یکنواختی پاشش نقصی باشد احتمال نامیزانی در رنگ آمیزی بالا می رود و در مقیاس ها بزرگ تر امکان بالا رفتن مصرف رنگ یا هزینه می شود. یکی از راه هایی که باعث می شود از این مشکلات جلوگیری کرد این است که از نحوه پاشش عکسبرداری کرد. در شکل ۱۱ یک نازل نمایش داده شده است که از پاشش مستقیم آن اسکن گرفته شده. به این ترتیب می توان نحوه پاشش را به خوبی بررسی و آنالیز کرد [۶].



(الف)



(ب)

■ قرمز      ■ آبی      ■ سبز

شکل ۱۰. اسکن و گرفتن ازبیلت خطوط یک لوله ثابت؛ الف) نتیجه ثبت شده از خطاهای پس از ساخت لوله است، ب) رنگ سبز مدل اصلی و نقاط قرمز رنگ نشان دهنده عیوب موقع ساخت است. مدل ب اصلاح شده مدل الف است که خطاها کمتر شده است [۳]

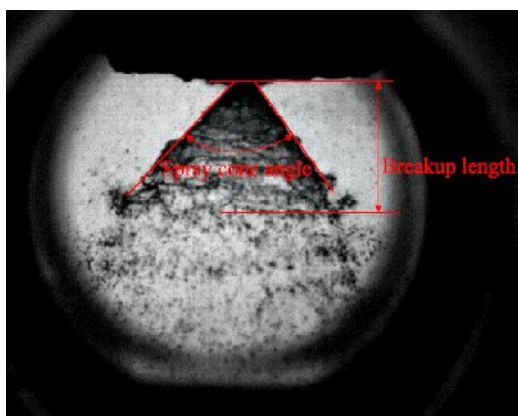
#### ۵. نتیجه گیری

طبق توضیحات داده شده استفاده از اسکن لیزر سه بعدی در تهیه نقشه های ازبیلت صنعتی سبب می شود علاوه بر دقت بالا و خطای بسیار کم ۱ تا ۲ میلی متر بتواند این فرایند را در ۱:۱۰ به انجام برساند (کمتر از ۱ روز تمام تجهیزات یک پلت فرم صنعتی را اسکن کرده و در ۱۰ روز بتواند عمل مدلینگ را انجام دهد)،

## قدردانی

با تشکر از شرکت صفا فولاد اصفهان<sup>۵</sup>، پیمانکار پروژه پلنت اکسیژن<sup>۶</sup> در شرکت فولاد مبارکه اصفهان<sup>۷</sup> و شرکت اسکن تک آلمان.

(اطلاعات گرفته شده از شرکت اسکن تک آلمان). استفاده از این فناوری پیمانکاران را از حضور مهندسان نقشه بردار بی نیاز کرده که همین عامل منجر به کاهش هزینه ها و ایمنی بالاتر در روند اجرای پروژه می شود.



شکل ۱۱. اسکن دوبعدی از نازل در زمان پاشش روغن

## ۶. مأخذ

- [1] H. Son, F. Bosché, C. Kim, As-built data acquisition and its use in production monitoring and automated layout of civil infrastructure: A survey, *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 29, No. 2 pp. 172-183, 2015.
- [2] K. Kawashima, S. Kanai, H. Date, As-built modeling of piping system from terrestrial laser-scanned point clouds using normal-based region growing, *Journal of Computational Design and Engineering* Vol. 1, No. 1, pp. 13-26, 2014.
- [3] J. Li, J. F. Li, Q. Yu, Q. N. Chen, S. Xie, Strain-based scanning probe microscopies for functional materials, biological structures, and electrochemical systems, *Journal of Materiomics*, Vol. 1, No. 1 pp. 3-21, 2015.
- [4] C. Wang, Y. K. Cho, Application of As-built Data in Building Retrofit Decision Making Process, *Procedia Engineering*, Vol. 118, pp. 902-908, 2015.
- [5] J. Lee, H. Son, C. Kim, C. Kim, Skeleton-based 3D reconstruction of as-built pipelines from laser-scan data, *Automation in construction*, Vol. 35, pp. 199-207, 2013.
- [6] H. Son, C. Kim, C. Kim, 3D reconstruction of as-built industrial instrumentation models from laser-scan data and a 3D CAD database based on prior knowledge, *Automation in Construction*, Vol. 49, pp. 193-200, 2015.
- [7] E. Tekin, A Method for Traceability and “As-built Product Structure in Aerospace Industry, *Procedia CIRP*, Vol. 17, pp. 351-355, 2014.
- [8] L. Diaz-Vilariño, S. Lagüela, J. Armesto, P. Arias, Indoor daylight simulation performed on automatically generated as-built 3D models, *Energy and Buildings*, Vol. 68, pp. 54-62, 2014.
- [9] Q. Fu, L. Yang, Visualization studies of the spray from swirl injectors under elevated ambient pressure, *Aerospace Science and Technology*, Vol. 47, pp. 154-163, 2015.

## پی نوشت

1. As-Built  
2. ScannTec  
3. Autodesk

4. PDMS  
5. SFCa  
6. A.S.U Plant  
7. MSC