بسمه تعالی

گزارش فرصت مطالعاتی

مقصد:

روسیه-مسکو- اسکولتک (Skoltech)

(skolkovo institute of science and technology)

مرکز پرینتر سه بعدی اسکولتک

(CDMM)

دانشجو:

کیوان محمدی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا موحدی

تیر الی آذر ۹۸

۱- مقدمه

اسکولتک بعنوان مرکزی با رویکرد بین المللی در سال ۲۰۱۱ با همکاری دانشگاه ماساچوست آمریکا (MIT) در منطقه دهکده تکنولوژی اسکولکوو در شهر مسکو تاسیس شده است. این مرکز با تمرکز مالی دولت روسیه ولی بصورت خصوصی مدیریت میشود. دانشگاه دارای نُه مرکز تحقیقاتی[1]در زمینه های جدید و مهم آینده است. فضای زیبای دانشگاه با طراحی ای منحصر بفرد، تجهیزات جدید و با کیفیت بالا، اساتید خبره، کادر مهندسی مجرب و پیگیر و همچنین کارمندان مسولیت پذیر شرایطی ویژه را برای تحقیقات و پیاده سازی ایده‌های محققین فراهم ساخته است. مرکز طراحی و ساخت پیشرفته (CDMM) با تمرکز بر تکنولوژی ساخت افزایشی[2]، توانسته است تمامی روشهای مهم و گرانقیمت ساخت افزایشی را جمع آوری کرده و محیطی در سطح دانشگاههای طراز اول دنیا فراهم کند.

۲- ایجاد آشنایی و همکاری با دانشگاه شریف و پروژه های مشترک انجام شده

با توجه به محیط مناسب، شرایط ایجاد شده و پتانسیل‌های موجود، در ماه اول سه پروپزال[3]جهت همکاری تهیه و در جلسه ای با حضور رئیس[4] اساتید، محققین و مهندسین مرکز CDMM ضمن معرفی دانشگاه شریف، ارائه شدند. با دستور رئیس مرکز سه پروپزال تایید و پس از اتمام فاز مرور ادبیات وارد مرحله اجرا شدند. در ماههای بعد تمرکز بر روی این سه پروژه بود که در ادامه معرفی و میزان پیشرفت ارائه خواهد شد.

پروژه اول : طراحی و ساخت الکترودهای مقاوم با روش ساخت افزایشی SLM برای آبشکافت فتوالکتروشیمیایی

پروژه دوم: طراحی بهینه چهار هدفه زاویه چرخش قطعات پرینت شده در روش SLM

---

[1]- Life Sciences , 2-Neurobiology and brain restoration, 3-Computational and Data-Intensive Science, 4-Energy science and technology, 5-Hydrocarbon Recovery, 6-Design, Manufacturing and Materials (CDMM), 7-Space, 8-Advanced Studies, 9-Photonics and Quantum Materials.

[2]Additive Manufacturing (AM)- 3D printing

[3] پروپزالهای ارائه شده به پیوست هستند.

[4]Professor Iskander Akhatov

پروژه سوم: طراحی و ساخت متامتریال پنتامود با روش ساخت افزایشی

رئیس مرکز ضمن موافقت جهت همکاری مشترک با دانشگاه شریف، دریافت فاند مناسب با هدف اجرای پروژه پرینتر الکتروهیدرودینامیک را منوط به چاپ مقاله مشترک بین CDMM و دانشگاه شریف دانستند.

۱-۲ پروژه اول : طراحی و ساخت الکترودهای مقاوم با روش ساخت افزایشی SLM برای آبشکافت فتوالکتروشیمیایی

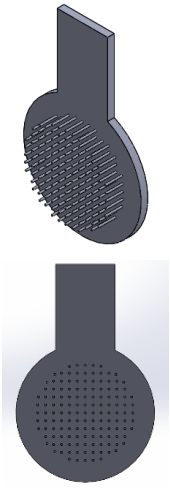
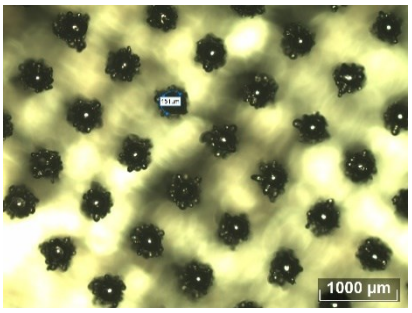
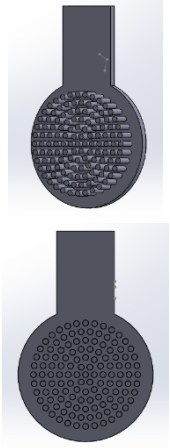
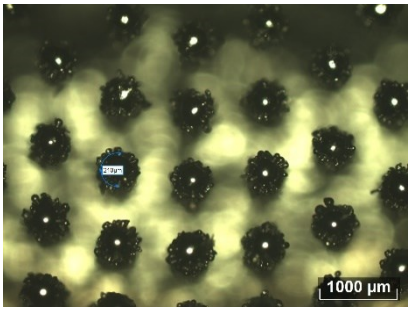
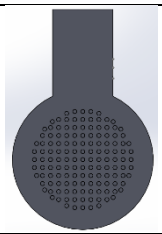
Robust additive manufactured electrodes for photoelectrochemical water splitting process

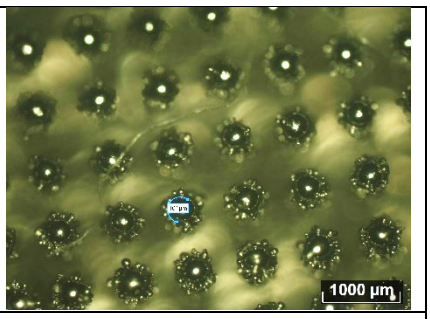
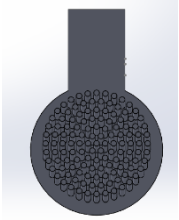
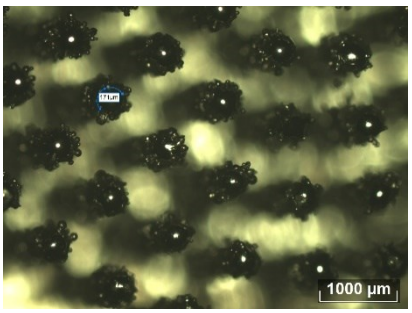
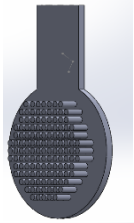
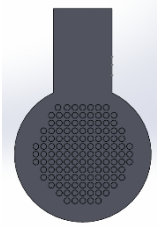
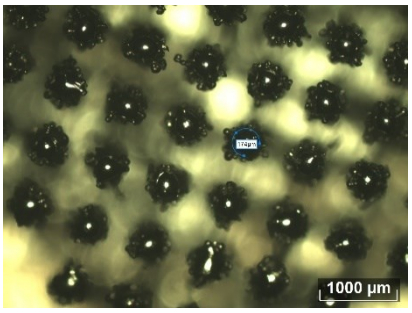
آبشکافت یک واکنش شیمیایی است که در آن آب با استفاده از الکترودهای کاتالیزور به اکسیژن (O_2) و هیدروژن (H_2) تجزیه می شود. توپولوژی سطح الکترودها نقش مهمی در کارآیی فرایند ابشکافت دارد، بطوریکه با ارائه طرحی با سطح ویژه مناسب میتوان به میزان قابل توجهی تولید هیدروژن و اکسیژن را افزایش داد. ساختارهای پیچیده با توپولوژی های خاص میتوانند روی الکترودهای معمولی قرار بگیرند و راندمان فرایند را بهبود دهند. با توجه به محدودیتهای روشهای معمول ساخت و تولید، پرینترهای سه بعدی میتوانند توپولوژی‌های پیچیده مدنظر طراح را تولید کنند. سطح ویژه مناسب، امکان دسترسی نور به تمامی سازه و خروج راحت حبابهای تولید شده، پارامترهای اصلی مورد نظر در طراحی الکترود هستند که توپولوژی مدنظر بایستی این سه پارامتر را بخوبی بهینه کند. برای این منظور هشت مرحله تحقیق همانند جدول ۱ مشخص و طرحهای مختلف میله ای، میله ای با زاویه، میله ای با چیدمان دایره ای، میله ای با چیدمان مربعی، مخروطی، استوانه ای با قطرهای مختلف از جنس فولاد ضد زنگ ۳۱۶ (SS 316L) برای بررسی اولیه طراحی و نتایج آن استخراج شدند. قطعات پرینت شده و نتایج تستهای ابشکافت و درصد پیشرفت مراحل مختلف این پروژه در ادامه گزارش شده است.

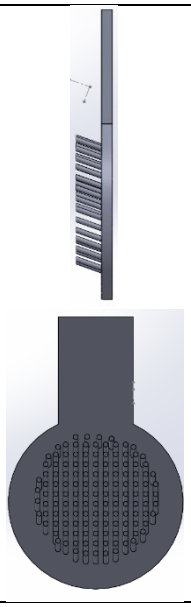
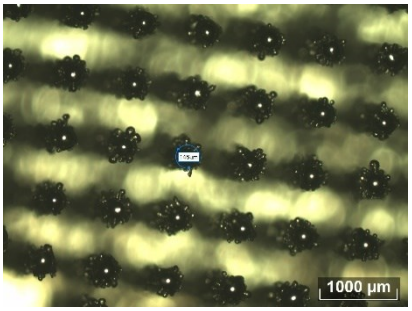
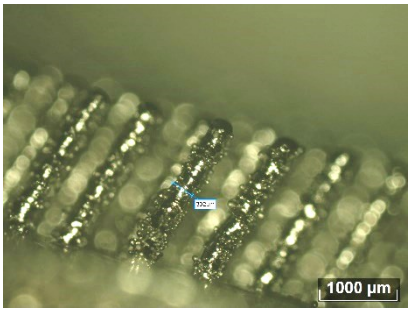
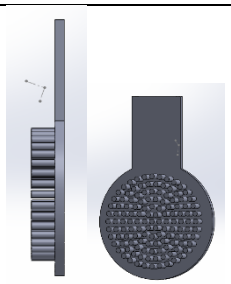
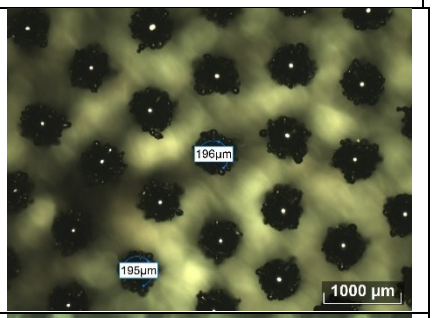
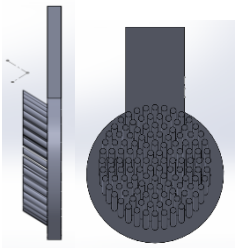
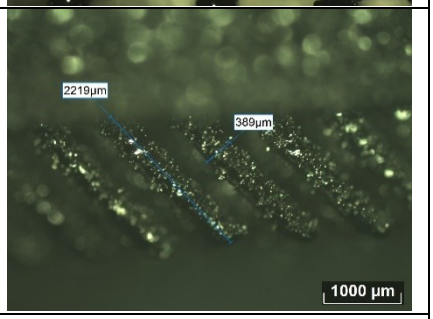
جدول ۱ مراحل تحقیق و میزان پیشرفت در مدت فرصت مطالعاتی

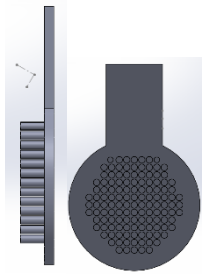
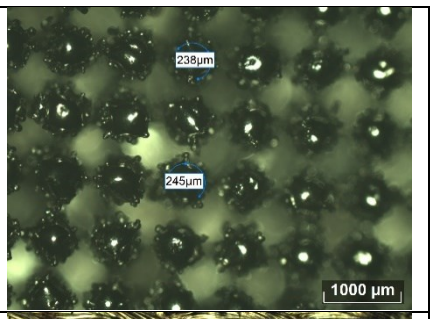
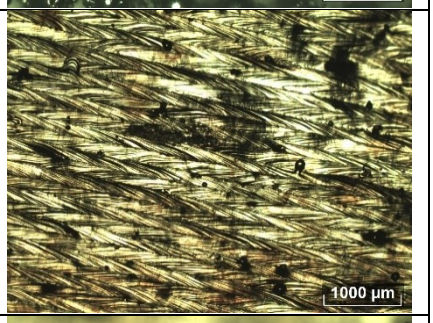
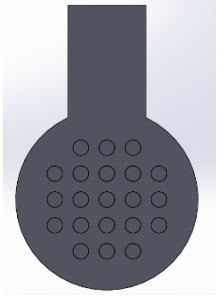
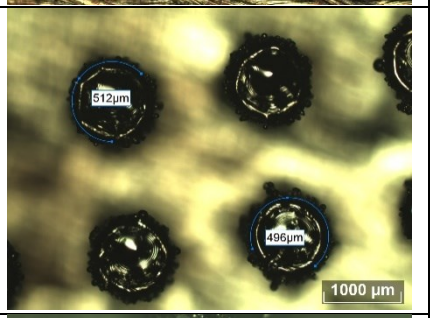
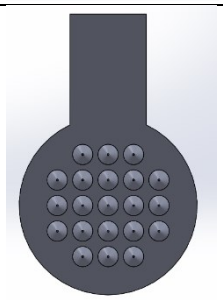
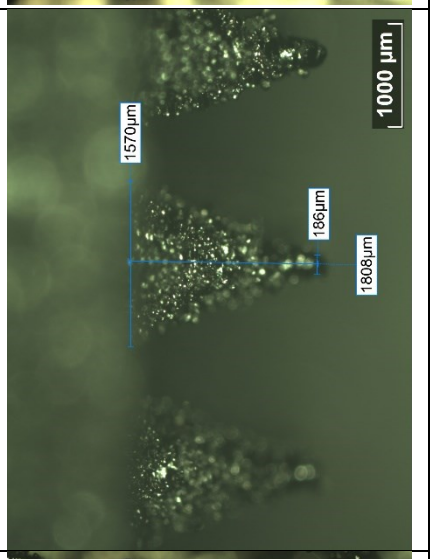
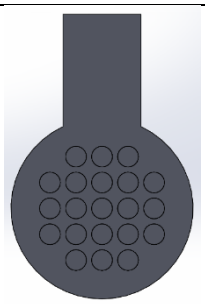
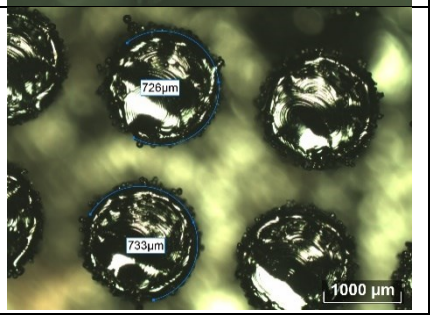
First project, Progress report			
Robust additive manufactured electrodes for photoelectrochemical water splitting process			
Numbers	Defined steps	Status	% of progress
Step 1	Literature review	✓	100
Step 2	Selection of materials	✓	90
Step 3	Topology design of suitable electrodes and 3D CAD files	✓	80
Step 4	Preparing of conventional electrodes and water splitting test	✓	100
Step 5	Manufacturing of the samples by SLM method	✓	85
Step 6	Water splitting tests	Under process	70
Step 7	Analysis and comparison of the results of various topologies	Under process	50
Step 8	Writing the paper	Under process	0
Final % of progress			72 %

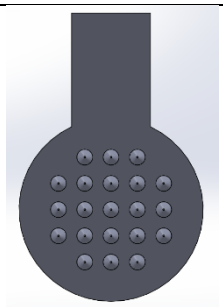
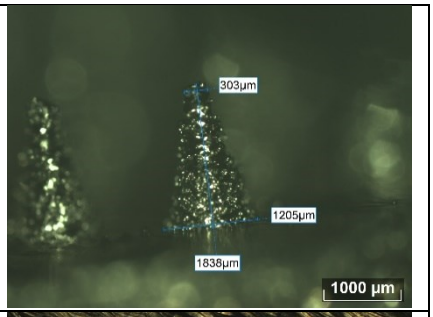
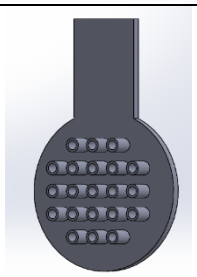
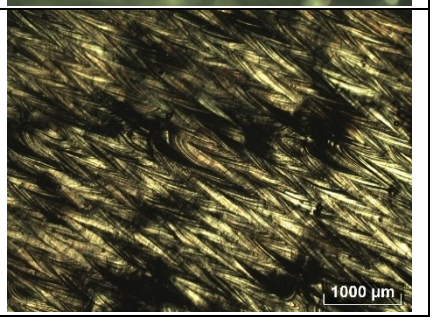
15 different topologies	Printed parts

Part	Figure	Material	Designed diameter	Printed diameter	Image
1 Or 1		SS 316	100um **Square pattern**	300um	
2 Or 7-2		SS 316	300um **Circular pattern**	400um	
3 Or 3-1		SS 316	300um	320um	

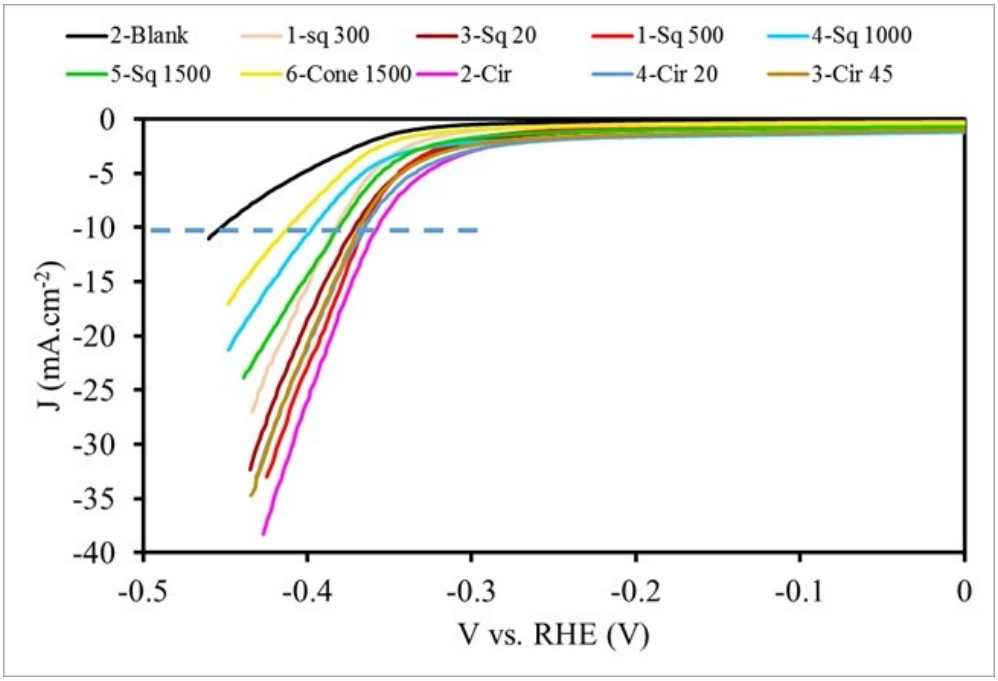
			Square pattern		
4 Or 7-3		SS 316	300um **Circular pattern**	340um	
5 Or 7-1	 	SS 316	300um **Square pattern**	340um	
6 Or 3-2		SS 316	200um	300um	

			**Square pattern**		
6					
7 Or 7-3		SS 316	300um **Circular pattern**	400um	
8 Or 7-3-45'		SS 316	300um **Circular pattern 45'**	380um	
9 Or 7-1		SS 316	350	500	

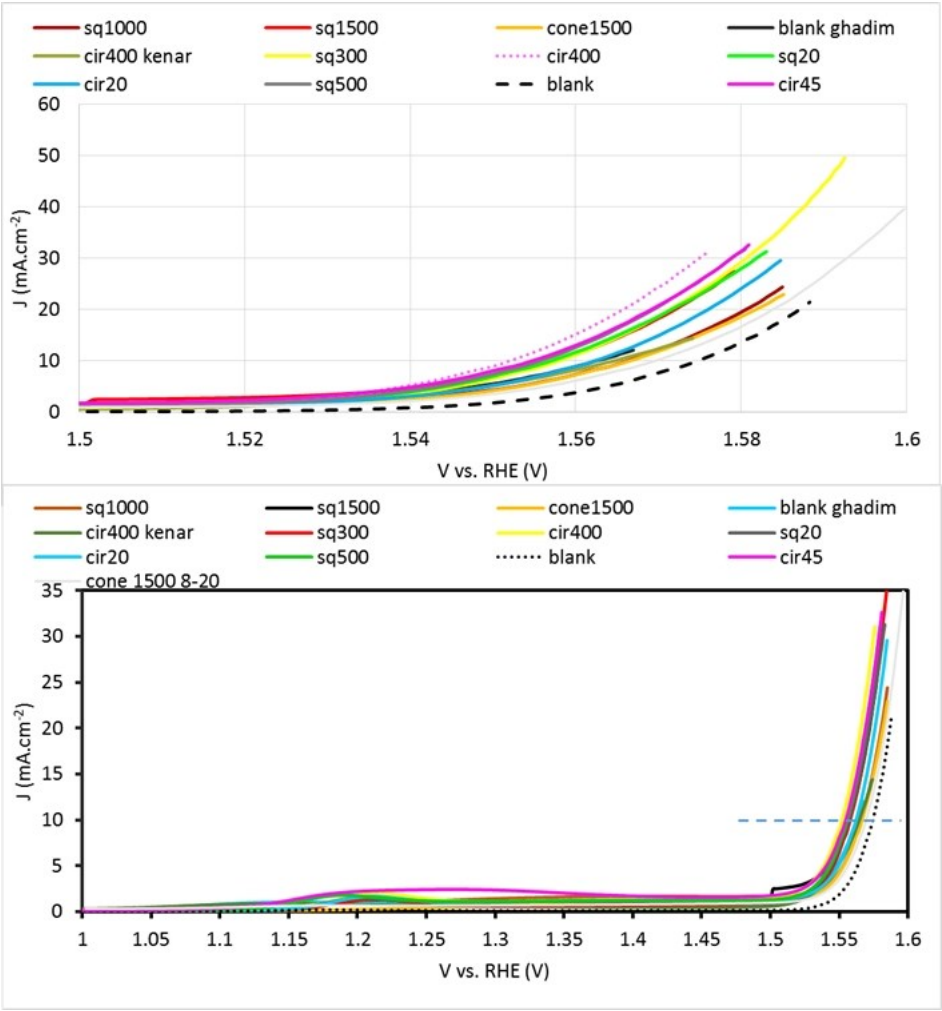
			**Square pattern**		
10		SS 316			
11 Or 9		SS 316	600um **Square pattern**	980um	
12 Or 9-3		SS 316	800um **Square pattern**	1500um	
13 Or 9-4		SS 316	800um **Square pattern**	1450um	

14 Or 9-2		SS 316	600um **Square pattern**	1200um	
15 Or 10		SS 316	600um **Square pattern**	0	

پس از آماده سازی نمونه های پرینت شده برای آبشکافت، آزمایشات انجام و نتایج ابشکافت در ادامه آمده است.



شکل ۱ نتایج نمونه های پرینت شده در تولید هیدروژن



شکل ۲ نتایج نمونه های پرینت شده در تولید اکسیژن

بعد از دریافت نتایج مثبت فوق، نمونه های و طرحهای جدید از جنس آلیاژ تیتانیوم-وانادیوم[۱] ساخته و آماده انجان ازمایش هستند.

این نتایج جهت چاپ مقاله کافیست و برای تحقیقات جدیدتر، چند ایده استخراج شده اند و نمونه های اولیه در حال طراحی و برخی از آنها نیز پرینت شده اند. در واقع این پروژه پتانسیل ادامه با ایده های جدیدتر را دارد.

[۱] Ti-6Al-4V

۲-۲ پروژه دوم: طراحی بهینه چهار هدفه زاویه چرخش قطعات پرینت شده در روش SLM

Orientation optimization for SLM 3D Printed parts

یکی از مهمترین پارامترهایی که در ساخت قطعات با روش ساخت افزودنی وجود دارد الگوی جهتگیری ساخت قطعه است که خواص و ویژگیهای قطعه را تغییر میدهد. بطوریکه جهتگیری ساخت قطعات حتی بر روی خواص مکانیکی قطعه از جمله استحکام کششی نهایی قطعه و میانگین نرخ کرنش پلاستیک قطعهٔ ساخته شده نیز میتواند تأثیرگذار باشد. به همین دلیل قبل از شروع به ساخت قطعه باید جهتگیری بهینه مربوط به ساخت قطعه برای دستگاه ساخت افزایشی تعریف شود. لذا، دقت و بازده فرآیند، بستگی به جهتگیری ساخت قطعه دارد و معیارهای آن را نیازمندیهای کاربر تعیین میکند. انتخاب کاربر در مورد جهتگیری ساخت، بر زمان ساخت، دقت و صافی سطح، مقدار مواد تکیهگاهی مصرفی، استحکام، میزان حجم محصور، جانمایی ساخت قطعات و ... تأثیر مستقیم دارد.

برای مثال، زمان ساخت قطعه در فرآیندهای ساخت افزودنی تابع بسیاری از عوامل از جمله قدرت دستگاه، سرعت اسکن، نوع هاشورزنی لایهها، فاصله هاشور، سرعت پاشش پودر، جهتگیری ساخت قطعه، تعداد و ضخامت لایههای مورد نیاز ساخت و مقدار مواد تکیهگاهی مصرفی میباشد. از طرفی جهتگیری ساخت روی میزان شیب تاثیر قابل توجهی دارد بطوریکه اگر یک استوانه در جهت ایستاده بر روی قاعده ساخته شود میزان صافی سطح بسیار بهتری نسبت به جهات دیگر ساخت دارد. از دیگر پارامترهای مهم در پرینت قطعات با روش ساخت افزایشی، میزان مواد تکیه گاهی است که بطور مستقیم به جهت گیری درست قطعه برای پرینت بستگی دارد بطوریکه یک استوانه قرار گرفته بر روی قاعده نیازی به تکیه گاه ندارد ولی اگر همین استوانه بصورت افقی پرینت شود لازم است تا نصف طرح استوانه دارای تکیه گاه باشد. از دیگر پارامتهرای مهم استحکام قطعه یا بطور غیرمستقیم، سختی سطح قطعه پرینت شده است که با توجه به بررسی انجام شده در مرور ادبیات، این پارامتر به جهت پرینت بستگی دارد. لذا در این تحقیق چهار هدف مهم معرفی شده یعنی:

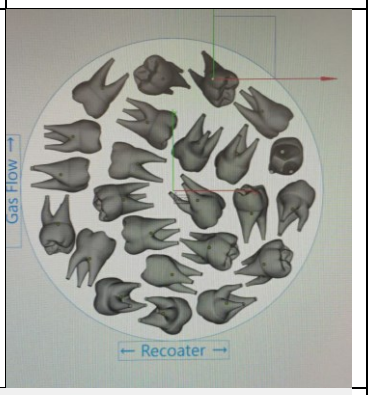
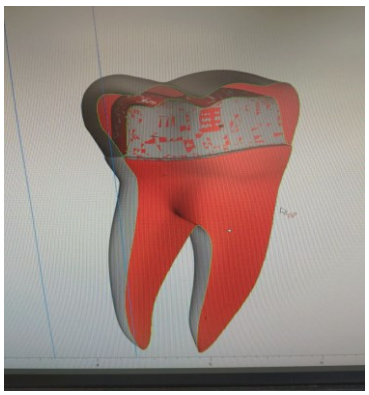
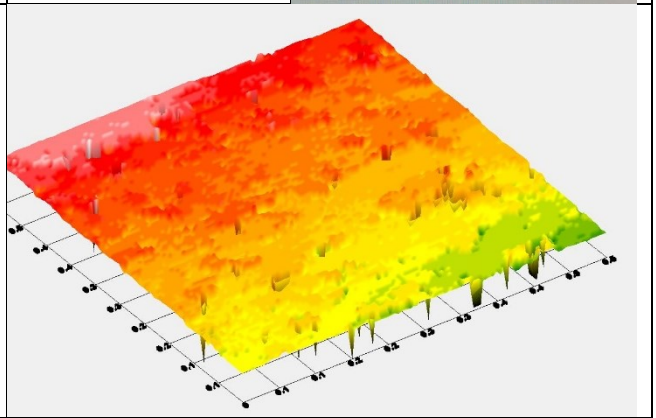
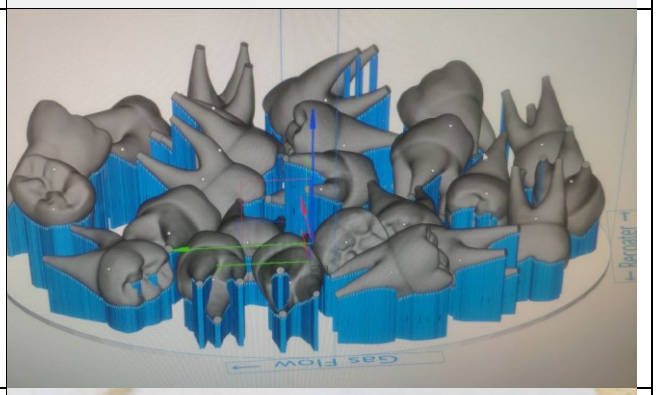
۱) زمان ساخت
۲) صافی سطح
۳) میزان مواد تکیه گاهی
۴) سختی سطحی

بعنوان چهار هدف جهت بهیه سازی انتخاب و روش LHS (24,3) برای انتخاب جهتگیری مناسب در سه زاویه فضایی پیاده سازی شد. قطعه مورد نظر در این روش لازم است تا علاوه بر پیچیدگی لازم، چهار هدف مورد نظر برای کاربرد آن مورد نیاز باشد لذا با توجه به پیشرفت و کاربرد ساخت افزایشی در بایومکانیک و

ساخت ایمپلنتها، قطعه هدف دندان سه ریشه ای انتخاب و ۲۴ نمونه از آن با ابعاد واقعی ساخته شد. تست صافی سطح، میزان مواد تکیه گاهی و زمان ساخت در اسکولتک انجام شد ولی بدلیل دقت بالای دستگاه اسکولتک در سنجش سختی سطحی، این تست در ایران انجام خواهد شد. در جدول ۲ و تصاویر ادامه، میزان پیشرفت و مراحل تحقیق نشان داده شده است.

جدول 2 مراحل تحقیق و میزان پیشرفت در پروژه دوم

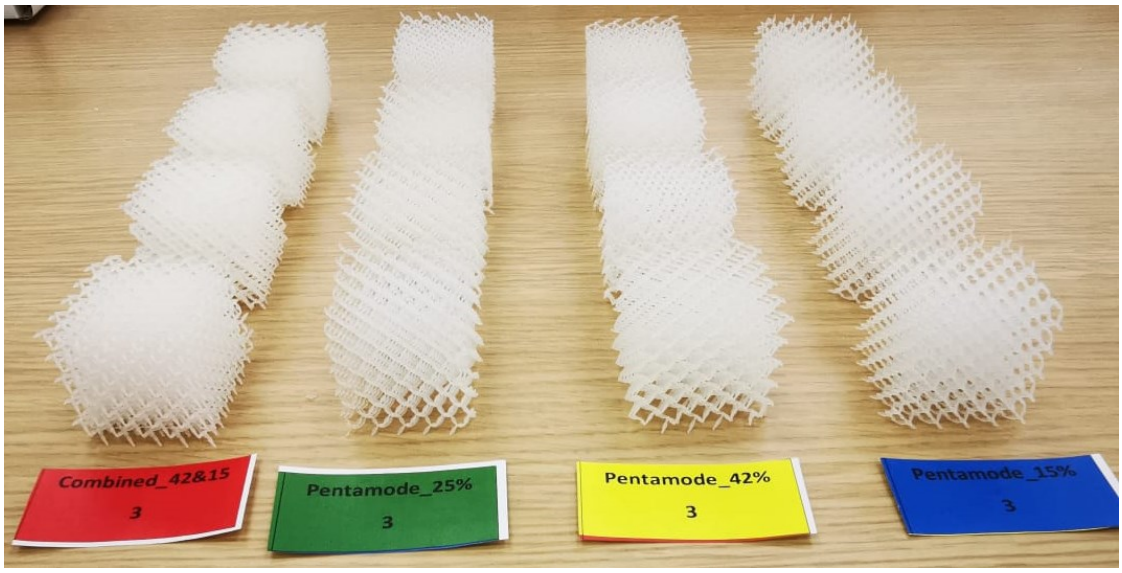
Second project, Progress report			
Orientation optimization for SLM 3D Printed parts			
Numbers	Defined steps	Status	% of progress
Step 1	Literature review	✓	100
Step 2	Selection of materials and objective function	✓	100
Step 3	Topology design of suitable part and 3D CAD file	✓	100
Step 4	Design of Experiment to get the arrangement of the sample tests	✓	100
Step 5	Manufacturing of the samples by SLM method	✓	100
Step 6	Mechanical tests	✓	60
Step 7	Use genetic algorithm II (NSGA-II) to solve the multi-criteria optimization Problem	Under process	50
Step 8	Selecting the optimum PBO	Under process	40
Step 9	Writing the paper	Under process	0
Final % of progress			75 %

Test print	Mechanical tests	Final 3D cad
	• Surface roughness • Surface Hardness • Time of building • Support area	
		
LHS design (24,3) arrrangment		

۳-۲ پروژه سوم: طراحی و ساخت متامتریال پنتامود با روش ساخت افزایشی

Additive manufacturing of pentamode metamaterial structures

متامتریال ساختارهایی با طراحی ویژه جهت دستیابی به خواص متفاوت مکانیکی و آکوستیکی بدون تغییر در ساختار شیمیایی آنها است. علی رغم معرفی این ساختارها بصورت تئوری در دهه‌های گذشته، ولی بدلیل محدودیتهای روش‌های ساخت و تولید معمول، محققین قادر به ساخت این ساختارهای پیچیده نبوده اند. با ظهور ساخت افزایشی (پرینتر سه بعدی) این محدودیتها برطرف شده است و امکان ساخت ساختارهای پیچیده متامتریال محقق شده است. با بررسی دقیق (مرور ادبیات) ساختارهای مختلف متامتریال، ساختار پنتامود بدلیل خواص منحصر به بفرد مکانیکی و آکوستیکی، برای این پژوهش انتخاب شد. در این پژوهش ساختار پنتامود غیر همگن طراحی و ساخته شد، در بخش دیگری از تحقیق ساختار ترکیبی پنتامود که تاکنون در هیچ تحقیق دیگری گزارش نشده بود طراحی و ساخته شد (شکل ۳).



شکل ۳ نمونه های ساخته شده پنتامود در چهار حالت طراحی شده و هر طرح چهار بار تکرار شده است

استرات های مخروطی، نسبت بالای طول به قطر پایه، نیاز به تکیه گاه و دقت لازم بالا در ساخت این ساختار، باعث شده است ساخت این ساختار با روشهای ساخت افزایشی هم ساده نباشد.

ساختارهای فوق ساخته شده و مراحل اولیه لازم جهت تستهای مکانیکی انجام و بدلیل حجم بالای کارها در ماه نوامبر، آزمایشات در ماه دسامبر انجام و نتایج آن جهت آنالیز و نگارش مقاله برای بنده ارسال خواهد شد. در جدول ۳ مراحل تحقیق و درصد پیشرفت هر مرحله ارائه شده است.

جدول3 مراحل تحقیق و میزان پیشرفت در پروژه سوم

Third project, Progress report			
Additive manufacturing of pentamode lattice structure[1]			
Numbers	Defined steps	Status	% of progress
Step 1	Literature review	✓	100
Step 2	Collaboration with Delft University	✓	100
Step 3	Select the topology	✓	100
Step 4	Specific detail review on selected topology	✓	100
Step 5	Change the topology and propose the new design	✓	100
Step 6	Preparing CAD models for manufacturing	✓	100
Step 7	Demonstrate of samples and test types	Under process	70
Step 8	Additively manufacturing of samples	Under process	70
Step 9	Mechanical tests		10
Step 9	Writing the paper		0
Final % of progress			75 %

پروژه فوق پتانسیل توسعه به پروژه های جدیدتر را دارد و لذا در برنامه آتی، پرینت پنتامود جدید با روش SLM مدنظر است.

[1]The literature review is attached