



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية
الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث
العلمي



جامعة العربي التبسي - تبسة
تبسة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة الميكانيكية

مذكرة التخرج لنيل شهادة الماستر اكايمي

الشعبة: الهندسة الميكانيكية

التخصص: طاقويات

من اعداد الطالب : عبد اللطيف حسام الدين

العنوان:

إنشاء نفق هوائي ذو دائرة مفتوحة والقياس بجهاز انيمومتر الليزري

اشراف الدكتور : مدوكي رمزي

لجنة المناقشة :

الصفة	الرتبة العلمية	الإسم واللقب
رئيسا	أستاذ محاضر - أ -	بلعزيزية عبد الناصر
مشرفا ومقررا	أستاذ محاضر - أ -	مدوكي رمزي
عضوا مناقشا	أستاذ محاضر - ب -	لعور رضوان

السنة الجامعية: 2021/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وَلَوْلَا فَضْلُ اللَّهِ عَلَيْكَ وَرَحْمَتُهُ لَهَمَّتْ طَائِفَةٌ مِّنْهُمْ أَنْ يُضِلُّوكَ وَمَا يُضِلُّونَ إِلَّا أَنْفُسَهُمْ ۗ وَمَا يَضُرُّونَكَ مِنْ شَيْءٍ ۗ وَأَنْزَلَ اللَّهُ عَلَيْكَ الْكِتَابَ وَالْحِكْمَةَ وَعَلَّمَكَ مَا لَمْ تَكُن تَعْلَمُ ۗ وَكَانَ فَضْلُ اللَّهِ عَلَيْكَ عَظِيمًا (113)

الآية (113) من سورة النساء

الإهداء:

أهدي ثمرة جهدي إلى من قال فيهما عز وجل

«وَاخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا»

إلى من تاهت الكلمات والحروف في وصفها ويعجز القلم عن كتابة أي شيء عنها
وفي صلاتها كم أكثرت من الدعوات والتي كانت سندا في حياتي وغمرتني بعطفها وهي
التي مشت في عروق دمي، قلبي ينبض بها

أمي الغالية أدام الله عليها صحتها ورحاها

✚ إلى من أحمل إسمه بكل فتخر إلى أبي الغالي رحمه الله .

✚ وإلى أختايا الغاليتان والى خطيبتي حفظهم الله .

✚ وإلى كل العائلة الكريمة وزملاء الدراسة أيضا وإلى كل أصدقائي (اسامة

تومي، ديبلي شعيب، عبد اللطيف بلقاسم، شنتة زين الدين، قادري حمزة، هشام شنتة
أيمن عبداللطيف حسين شنتة) و خالي (الربيعي و نوار شنتة) متمني لهم التوفيق
والنجاح.

عبد اللطيف حسام الدين

الشكر والعرفان:

قال الله تعالى:

﴿ رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ
وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ ﴾

النمل/ الآية 19.

نحمد الله عز وجل الذي أمدنا بالثبات، والقوة والعزم على مواصلة مشوارنا الدراسي وتوفيقه لنا على إنجاز هذا العمل ولله الحمد والشكر على نعمته وفضله، ونسأل الله عز وجل البر والتقوى ومن العمل ما يرضى.

والصلاة والسلام على حبيبنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

نتقدم بجزيل الشكر للأستاذ المشرف "مدوكي رمزي"، ونسأل الله أن يجزيه كل الخير إذ لم يبخل علينا بإرشاداته وتوجيهاته ونصائحه.

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى كل من ساهم ولو بمعلومة بسيطة وجميع من مد لنا يد العون لإنجاز هذا العمل ونسأل الله تعالى التوفيق لنا ولهم جميعا.

جزاكم الله خيرا

الفهرس

الفهرس العام

الصفحة	العنوان
	الإهداء
	شكر وتقدير
	الفهرس العام
	فهرس الجداول
	مقدمة عامة
الفصل الأول	
01	1. مقدمة
01	2. تعريف الأنفاق الهوائية
01	3. أصناف الأنفاق الهوائية
01	1.3. حسب الدائرة الأيروديناميكية:
01	1.1.3. نفق هوائي ذو دائرة مفتوحة : (Open Circuit Tunnel)
02	2.1.3. نفق هوائي ذو دائرة مغلقة : (Closed Circuit Wind Tunnel)
03	2.3. حسب السرعة التي يتم الوصول إليها في غرفة الاختبار:
03	1.2.3. أنفاق هوائية تحت صوتية : (Subsonic Wind Tunnel)
04	2.2.3. أنفاق هوائية عبر صوتية : (Transonic Wind Tunnel)
04	i. أنفاق هوائية فوق صوتية : (Supersonic Wind Tunnel)
04	4.2.3. أنفاق هوائية فائقة للصوت : (Hypersonic Wind Tunnel)
05	2.3. حسب طبيعة جدران غرفة الاختبار:
05	1.2.3. أنفاق هوائية ذات غرفة اختبار مفتوحة :

05	2.2.3. أنفاق هوائية ذات غرفة اختبار موجهة :	14
06	3.3.3. أنفاق هوائية ذات غرفة اختبار نصف موجهة :	15
06	2.3. حسب موقع المروحة	16
06	1.4.3. نفق هوائي من نوع النّسف	17
06	5.3.1. نفق هوائي من نوع الشفط	18
07	4. عناصر تصميم النفق الهوائي التحت صوتي :	19
08	5. تصميم عناصر النفق الهوائي التحت صوتي :	20
08	1.5. تصميم غرفة الإختبار: Test section design	21
09	5.4. تصميم المتقارب : convergent design	22
12	3.5. تصميم غرفة التهدة : settling chamber design	23
13	4.5. تصميم بيت النحل : honeycomb design	24
14	1.4.5. شرطي بيت النحل :	25
14	2.4.5. أبعاد الخلايا الهندسية لبيت النحل	26
18	5.5. تصميم الحواجز الشبكية: Screens design	27
19	1.5.5. بشرط الحاجز الشبكي :	28
20	6.5. تصميم الناشر: diffuser design	29
21	8.5. تصميم المروحة: Fan Design	30
23	9.5. تصميم الرابط : adapté design	31
23	10.5. تصميم قناة المروحة : duct fan design	32
الفصل الثاني		
24	1. مقدمة:	01
24	2. ماهي الطباعة ثلاثية الأبعاد ؟	02

25	3. تاريخ موجز للطباعة ثلاثية الأبعاد:	03
26	4. أجزاء الطباعة ثلاثية الأبعاد:	04
26	5. أجزاء النهاية الساخنة للطباعة:	05
29	1.4. الطارد/البثق:	06
31	2.4. الفوهة: (Nozzle)	07
33	3.5. السخان:	08
33	4.5. أنبوبة التسخين:	09
33	6.5. المبرد أو المروحة :	10
34	6. أنواع من الطابعات ثلاثية الأبعاد أهمها:	11
34	1.6. ستيريوليثغرافي: (stereolithography)	12
35	2.6. النمذجة بالترسيب المنصهر: (FDM)	13
36	3.6. معالجة الضوء الرقمي: (DLP)	14
37	4.6. التلييد الانتقائي بالليزر: (SLS)	15
39	7. المواد المستخدمة في عملية الطباعة:	16
40	8. كيفية إختيار المواد المناسبة:	17
45	9. سير العمل لإنشاء النماذج:	18
45	1.9. رسم التصميم:	19
45	2.9. النمذجة ثلاثية الأبعاد:	20
46	3.9. إعداد وتقطيع المجسمات:	21
46	10. الطباعة ثلاثية الأبعاد:	22
47	11. آلية العمل:	23
47	12. استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد:	24
الفصل الثالث		
49	1. انشاء النفق الهوائي	01

49	1.1. التصميم: Design	02
49	2.1. التقطيع Slice	03
50	3.1. الإنشاء Create	04
51	1.3.1. إنشاء عناصر النفق الهوائي	05
51	4.6.1. إنشاء غرفة الإختبار: test section create	06
52	3.3.1. إنشاء المتقارب: Nozzles create	08
54	4.3.1. إنشاء غرفة التهدئة: Settling chamber create	09
54	الأبعاد :	10
56	5.3.1. إنشاء بيت النحل: Honeycomb create	11
58	6.3.1. إنشاء الحواجز الشبكية: Screens create	12
61	7.3.1. إنشاء الناشر: Diffuseur create	13
65	8.3.1. إنشاء الرابط: Adapter create	14
67	9.3.1. إنشاء قناة المروحة: Duct fan create	15

69	10.3.1. إنشاء المروحة: fan create	16
الفصل الرابع		
73	1. مقياس السرعة الليزري-الدوبلري	01
75	2. مبدئ عمل جهاز أنيمومتر الليزري:	02
خاتمة		
قائمة المراجع والمصادر		

فهرس الأشكال

الرقم	العنوان
الفصل الأول	
01	الشكل 01: نفق هوائي ذو دائرة مفتوحة
02	الشكل 02: نفق هوائي ذو دائرة مغلقة
03	الشكل 03: نفق هوائي تحت صوتي
04	الشكل 04: أنفاق هوائية عبر صوتية
05	الشكل 05: نفق هوائي عبر صوتي
06	الشكل 06: نفق هوائي عبر صوتي
07	الشكل 07: غرفة إختبار مفتوحة
08	الشكل 08: غرفة اختبار موجهة
09	الشكل 09: غرفة اختبار نصف موجهة
10	الشكل 10: مروحة هوائية من نوع النّسف
11	الشكل 11: مروحة هوائية من نوع الشّفط
12	الشكل 12: العناصر الرئيسية للنفق الهوائي التحت صوتي
13	الشكل 13 : غرفة الإختبار ثلاثية الأبعاد
14	الشكل 14 : غرفة الإختبار و الجسم المراد دراسته
15	الشكل 15: المتقارب
16	الشكل 16: الأبعاد الهندسية لغرفة التهئة
17	الشكل 17: أنواع بيوت النحل
18	الشكل 18: الأبعاد الهندسية لبيت النحل
19	الشكل 19: الأبعاد الهندسية للحاجز الشبكي
20	الشكل 20: الناشر في هيئة ثلاثية الأبعاد
21	الشكل 21: مروحة محورية

الفصل الثاني

	الشكل 22: طابعة ثلاثية الأبعاد	22
	الشكل 23: طابعة ثلاثية الأبعاد	23
	الشكل 24: تاريخ الطابعة ثلاثية الأبعاد	24
	الشكل 25: هيكل الطابعة ثلاثية الأبعاد	25
	الشكل 26: منصة الطابعة ثلاثية الأبعاد	26
	الشكل 27: منصة الطابعة ثلاثية الأبعاد	27
	الشكل 28: الكترولنيات التحكم بالطابعة ثلاثية الأبعاد	28
	الشكل 29: الطارد/البيتق	29
	الشكل 29: الفوهة	30
	الشكل 30: المحرك الخطوي	31
	الشكل 31: السخان	32
	الشكل 32: أنبوبة التسخين	33
	الشكل 33: المروحة	34
	الشكل 34: الطابعة من نوع ستيريو ليثغرافي	35
	الشكل 35: الطابعة من نوع النمذجة بالترسيب المنصهر	36
	الشكل 35: الطابعة من نوع معالجة الضوء الرقمي	37
	الشكل 36: الطابعة من نوع التلييد الانتقائي بالليزر	38
	الشكل 37: مواد الطابعة ثلاثية الأبعاد	39
	الشكل 38: أنواع مواد الطابعة ثلاثية الأبعاد	40
	الشكل 39: مراحل الطابعة ثلاثية الأبعاد	41
	الشكل 40: مراحل الطابعة ثلاثية الأبعاد	42
	الشكل 41: مراحل الطابعة ثلاثية الأبعاد	43
	الشكل 42: بعض استخدامات الطابعة ثلاثية الأبعاد	44

الفصل الثالث		
01	الشكل 01 : طباعة ثلاثية الأبعاد من نوع Ender Creality 3D-max	
02	الشكل 02 : واجهة برنامج الصوليدوركس	
03	الشكل 03 : ضبط المعطيات على مستوى برنامج السليسر	
04	الشكل 04: الطباعة بطابعة ثلاثية الأبعاد من نوع Ender Creality 3D-max	
05	الشكل 05 : تصميم حامل غرفة الاختبار في برنامج الصوليدوركس	
06	الشكل 06: حامل غرفة الاختبار في برنامج السليسر قبل وبعد التقطيع	
07	الشكل 07: وقت طباعة غرفة الاختبار وكمية استهلاكها لمادة الطباعة	
08	الشكل 08: تصميم باب غرفة الاختبار في برنامج الصوليدوركس	
09	الشكل 09: باب غرفة الاختبار في برنامج السليسر قبل وبعد التقطيع	
10	الشكل 10: وقت طباعة باب غرفة الاختبار وكمية استهلاكه لمادة الطباعة	
11	الشكل 11 : غرفة الاختبار بعد طباعتها	
12	الشكل 12 : المتقارب في برنامج الصوليدوركس	
13	الشكل 13 : المتقارب في برنامج السليسر بعد و قبل التقطيع	
14	الشكل 14 : المتقارب بعد طباعته	
15	الشكل 15: وقت طباعة المتقارب وكمية استهلاكها لمادة الطباعة	
16	الشكل 16: غرفة التهدة في برنامج الصوليدوركس	
17	الشكل 17: غرفة التهدة في برنامج السليسر قبل وبعد التقطيع	
18	الشكل 18: غرفة التهدة بعد الطباعة.	
19	الشكل 19 : وقت طباعة غرفة التهدة وكمية استهلاكها لمادة الطباعة	
20	الشكل 20: بيت النحل في برنامج الصوليدوركس	
21	الشكل 21: بيت النحل في برنامج السليسر قبل وبعد الطباعة	

	الشكل 22: بيت النحل بعد الطباعة	22
	الشكل 23: وقت طباعة بيت النحل وكمية استهلاكه لمادة الطباعة	23
	الشكل 24: الحاجز الشبكي الأول في برنامج الصوليدووركس	24
	الشكل 25 : الحاجز الأول في برنامج السليس	25
	الشكل 26: وقت طباعته وكمية استهلاكه لمادة الطباعة	26
	الشكل 27: الحاجز الشبكي الأول بعد الطباعة	27
	الشكل 28: الحاجز الشبكي الثاني في برنامج الصوليدووركس	28
	الشكل 29 : الحاجز الشبكي الثاني في برنامج السليس	29
	الشكل 30: وقت طباعته وكمية استهلاكه لمادة الطباعة	30
	الشكل 31: الحاجز الشبكي الثاني بعد الطباعة	31
	الشكل 32 :الناشر في برنامج الصوليدووركس	32
	الشكل 33 : الجزء الأول من الناشر في برنامج الصوليدووركس	33
	الشكل 34 : الجزء الثاني من الناشر في برنامج الصوليدووركس	34
	الشكل 35 : الجزء الأول من الناشر في برنامج السليس	35
	الشكل 36 : الجزء الثاني من الناشر في برنامج السليس	36
	الشكل 37: الجزء الاول من الناشر بعد الطباعة	37
	الشكل 38: الجزء الثاني من الناشر بعد الطباعة	38
	الشكل 39: وقت طباعة الجزء الأول كمية استهلاكه لمادة الطباعة	39
	الشكل 40: وقت طباعة الجزء الثاني كمية استهلاكه لمادة الطباعة	40
	الشكل 41: الرابط بعد تصميمه في برنامج الصوليدووركس	41
	الشكل 42 : الرابط في برنامج السليس قبل التقطيع و بعد التقطيع(وجود حامل)	42
	الشكل 43: الرابط بعد طباعته	43
	الشكل 44 : وقت طباعة الرابط وكمية استهلاكه لمادة الطباعة	44

45	الشكل 45: قناة المروحة في برنامج الصوليدووركس
46	الشكل 46: قناة المروحة في برنامج السليس قبل وبعد التقطيع
47	الشكل 47 : قناة المروحة بعد طباعتها
49	الشكل 48: وقت طباعة قناة المروحة وكمية استهلاكها لمادة الطباعة
50	الشكل 49: المروحة في الصوليد ووركس
51	الشكل 50: المروحة في برنامج سليس قبل وبعد التقطيع
52	الشكل 51: وقت الطباعة وكمية مادة الطباعة المستهلكة
53	الشكل 52: حامل المروحة بعد الطباعة
54	الشكل 53: المروحة بعد الطباعة
55	الشكل 54: النفق الهوائي بعد تجميع عناصره
	الفصل الرابع
01	الشكل 01 : تموضع مقياس السرعة الليزري في حقل الجريان
02	الشكل 02 : مبدء قياس السرعة باستخدام مقياس السرعة الليزري ثنائي البعد
03	الشكل 03 : مبدء عمل جهاز انيمومتر ليزري
04	الشكل 04: التقنية البصرية لجهاز انيمومتر الليزري

قائمة الرموز

القطر الهيدروليكي لغرفة الاختبار	D_{hts}
اللزوجة الديناميكية	μ
مساحة خلية بيت النحل	A_{cell}
مساحة المقطع العرضي لمدخل الناشر	$A_{d in}$
مساحة المقطع العرضي لمخرج الناشر	$A_{d out}$
مساحة المقطع العرضي للمروحة	A_f
مساحة المقطع العرضي لتدفق الفعلي	A_{flow}
النسبة بين مساحتي مدخل ومخرج الناشر	AR
مساحة المستطيل	$A_{Rectangle}$
مساحة المقطع العرضي لغرفة التهئة الطول المحوري لبيت النحل	A_{SC}
مساحة المقطع العرضي للجزء الصلب من بيت النحل	A_{sol}
مساحة شبه المنحرف	$A_{trapeze}$
مساحة المقطع العرضي لغرفة الاختبار	A_{ts}
المساحة التي تشغلها اسلاك الحاجز الشبكي	A_w
مساحة تقسيمة واحدة من بيت النحل	A_z
قطر المروحة	D_f
القطر الهيدروليكي لمخرج الناشر	D_{hdout}
قطر خلية بيت النحل	D_{honey}
القطر الهيدروليكي للخلية	D_{hsc}
قطر سلك الحاجز الشبكي	d_w
زاوية التباعد الهندسي للناشر	ϑ_e
معامل الاحتكاك	F
صلابة بيت النحل	σ_h

معامل الضياع	K
الطول المحوري للمقارب	L_{cv}
الطول المحوري للناشر	L_d
الطول الخارجي للخلية	l_{honey}
الطول الداخلي للخلية	l_{honey}
طول ضلع المقطع العرضي لغرفة الاختبار	l_{ts}
الطول المحوري لغرفة الاختبار	L_{ts}
الطول المحوري لبيت النحل	L_{ts}
مساحة المقطع العرضي لمخرج الناشر	n_w
عدد تقسيمات بيت النحل في الاتجاه العرضي	n_y
عدد تقسيمات بيت النحل في الاتجاه الشاقولي	n_z
محيط المقطع العرضي لغرفة الاختبار	P_{ts}
ضياع الضغط	Δ_p
عدد رينولدز	Re
سمك خلية بيت النحل	S_{honey}
سرعة المروحة	V_f
السرعة المتوسطة للجريان في غرفة الاختبار	V_{ts}
طول تقسيمة الحاجز الشبكي	w_m
المسافة المحورية	X
نصف طول ضلع المقطع العرضي للمقارب	Y
نصف طول ضلع المقطع العرضي لمدخل المقارب	Y_i
طول تقسيمة بيت النحل	Z
زاوية المقارب	α_{cv}
مسامية بيت النحل	β_h

مسامية الحاجز الشبكي	B_s
خشونة مادة بيت النحل	Δ
متغير عديم البعد	ξ
الكتلة الحجمية للهواء	ρ

الملخص

تطرقنا في عملنا هذا إلى تصميم و إنشاء نفق هوائي صغير مفتوح تحت صوتي ، حيث تمت عملية تصميم كل عنصر من عناصر هذا النفق على حدى وذلك بإستعمال برنامج الصوليدوركس وحفظ الملف على شكل STL ، ليتم تصديره إلى برنامج السليسر أين تم تقطيعه و تحضيره لعملية الطباعة بإستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد.

الكلمات المفتاحية : نفق هوائي ، تصميم ، برنامج الصوليدوركس ، برنامج السليسر ، الطباعة ثلاثية الأبعاد.

Résumé

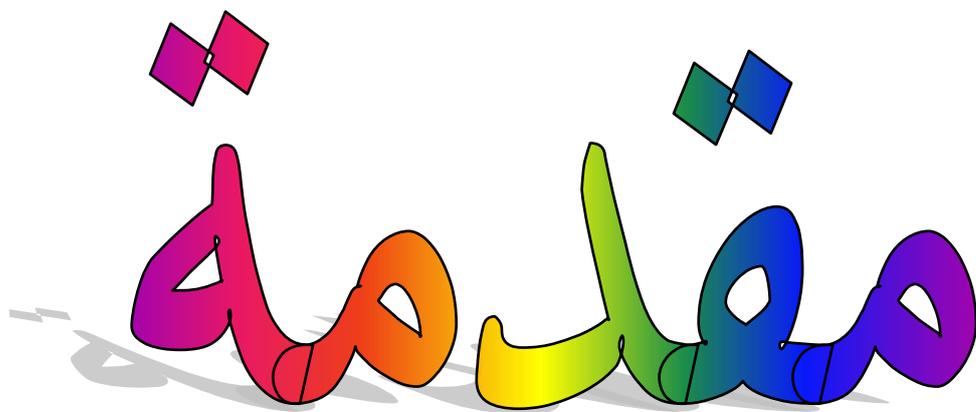
dans notre travail ,Nous avons abordé la conception et la construction d'une soufflerie subsonic type circuit ouvert , on a réussie de concevoir chaque partie de cette soufflerie à l'aide du programme solidworks ,et d'enregistrement du fichier sous forme de STL , à exporter au programme de slicer où il a été découpé et préparé pour l'imprimer à l'aide d'une imprimante 3D.

les mots clés : la soufflerie , la conception ,programme de solidworks , programme de slicer , imprimante 3D

Abstract

In this work , we set up and create a small subsonic open wind tunnel , each partie of this wind tunnel is disgned succesfully by using the solidworks program , and saving the file in the form of STL , to be exported to the slicer program where it was cut and prepared for the printing process by using 3D printer.

key words :wind tunnel , design ,solidworks programme ,slicer programme ,3D printer .



مقدمة

مقدمة:

نفق الرياح أو نفق هوائي: هو وسيلة لإجراء التجارب والأبحاث التي تدرس تأثير حركة الهواء على الأجسام، وتصرف الاجسام نفق الموضوعه في غرفة الاختبار التي ربما تكون عبارة عن مجسم طائرة والذي يتم تصنيعه مع الاخذ بعين الاعتبار قوانين تشابه النموذج التي تؤكد صلاحية النتائج التي يتم الحصول عليها من التجارب. يمكن أيضا دراسة تصرف توربينات الرياح والكثير من الاجسام التي يهمننا معرفة تصرفها الايروديناميكي.

حيث يضخ الهواء أو يسحب داخل أنبوب أو نفق بداخله الجسم المراد دراسته أو نموذج مصغر منه.

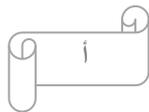
يستخدم نفق الرياح لدراسة مقاومة الهواء لحركة الطائرات أو السيارات ويستخدم أحيانا في مجال الإنشاءات. وكذلك يُستخدم لدراسة تأثيرات الريح، أو انسياب الهواء، على الطائرات، والمركبات والبنيات الأخرى.

وتشيد الأنفاق الهوائية بأشكال كثيرة، ولأغراض مختلفة؛ فبعضها كبير الحجم للغاية بحيث يختبر طائرة تجريبية بحجمها الطبيعي، إلا أن معظم الأنفاق الهوائية تختبر طرزا مصغرة الأحجام، حيث يندرج عملنا هذا ضمن تصميم وإنشاء الانفاق الهوائية التحت صوتية بحلقة مفتوحة، حيث تناولنا في مذكرتنا هذه أربعة فصول:

➤ **الفصل الأول :** عموميات عن الانفاق الهوائية وكيفية تصميم عناصرها .

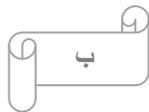
➤ **الفصل الثاني :** تكلمنا فيه عن الطابعة ثلاثية الأبعاد و أهم مكوناتها و كيفية استخدامها .

➤ **الفصل الثالث :** يتضمن تصميم و انشاء عناصر النفق الهوائي التحت صوتي ، حيث تم تبين مراحل الانشاء لكل عنصر على حدى وهي التصميم على مستوى برنامج الصوليدوروكس ، التقطيع في برنامج السليسر وكذلك الطابعة في الطابعة ثلاثية الأبعاد .



مقدمة

➤ الفصل الرابع : عموميات على جهاز انيمومتر .



الفصل الأول

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

1. مقدمة

إن مختلف القوى والعزوم التي تتعرض لها الأجسام من خلال تدفق الهواء لا يمكن تحديدها بدقة عالية عن طريق الحسابات النظرية، لذلك يجب على مهندسي التصميم اكتساب معرفة جيدة في مجال الديناميكا الهوائية التجريبية، هذه الأخيرة التي ساهمت كثيرا في العلوم الهندسية منذ الأزل.

الأنفاق الهوائية هي إحدى الوسائل المستخدمة لدراسة مجال الديناميكا الهوائية، والتي صممت لتوليد تدفقات الهواء بسرعات مختلفة، ويستخدم لتحليل سلوك التدفقات في ظل ظروف مختلفة، سواء أكان داخل القنوات أو على الأسطح الصلبة.

2. تعريف الأنفاق الهوائية

هي أجهزة تجريبية تستخدم للتنبؤ و المحاكاة التجريبية للنموذج المدروس، حيث يُثبت الجسم في النفق الهوائي، ثم يتدفق إسطناعيا الهواء أو الغاز الناتج بفعل المراوح بهدف دراسة و قياس الخصائص الهوائية لهذا الجسم.

3. أصناف الأنفاق الهوائية

تصنف الأنفاق الهوائية حسب:

- ❖ الدائرة الأيروديناميكية .
- ❖ سرعة الهواء في غرفة الاختبار .
- ❖ طبيعة الجدران في غرفة الاختبار .
- ❖ موقع المروحة .

1.3. حسب الدائرة الأيروديناميكية:

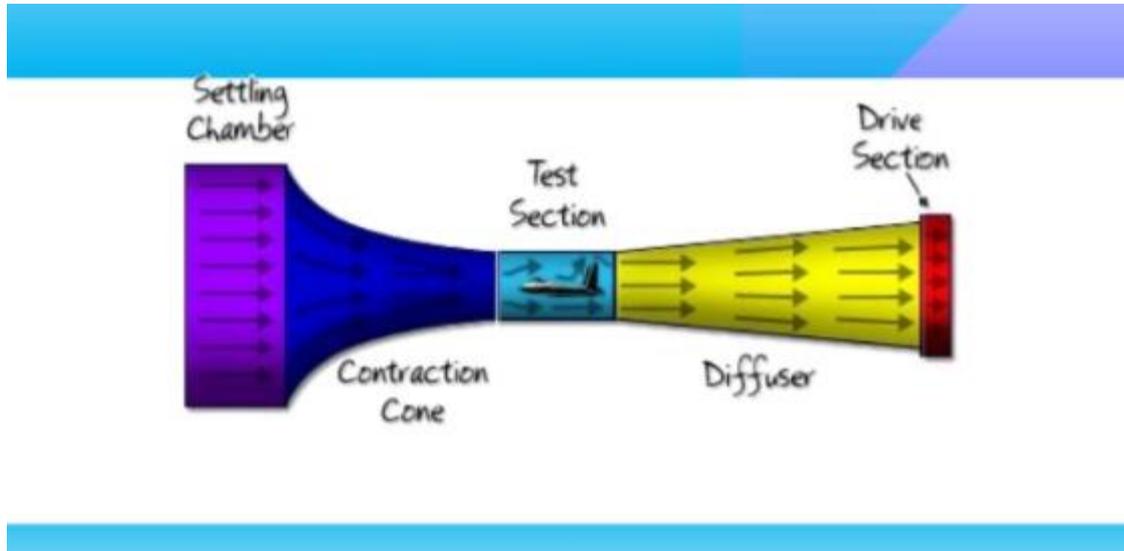
1.1.3. نفق هوائي ذو دائرة مفتوحة: (Open Circuit Tunnel)

هو النفق الذي يدخله الهواء من الطرف الأول و يغادره من الطرف الآخر , ولا يتم إرجاعه إلى المدخل ويطلق عليه نفق هوائي من نوع أيفال (Eiffel).

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

تتكون الأنفاق الهوائية ذات الدائرة المفتوحة من :

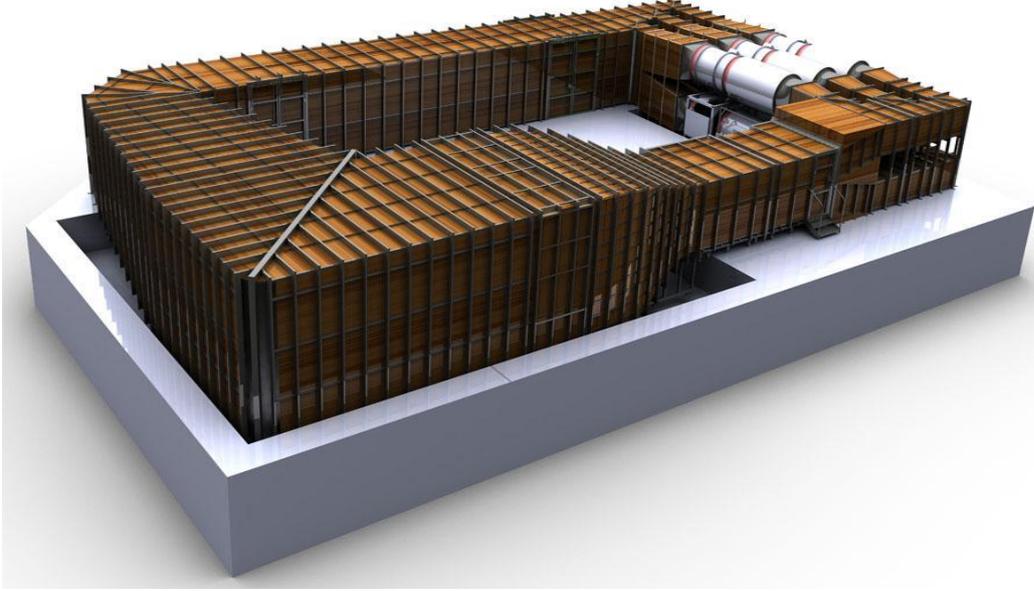
- غرفة التهدئة (Settling Chamber) : الهدف منها هو تقليل معدل الإضطراب و الحصول على أكبر عدد ممكن من التدفق الصفيحي .
- المتقارب (Contraction cone) : يهدف إلى تسريع الجريان .
- غرفة الاختبار (Test Section) : هي المكان الذي توضع فيه الأجسام المراد اختبارها .
- الناشر (Diffuser) : يسمح بتدفق الهواء الذي يغادر غرفة الاختبار تدريجيا مما يقلل من الضغط الديناميكي و يزيد من الضغط الساكن .
- قناة المروحة (Drive section) : تحتوي على المروحة.



الشكل 01: نفق هوائي ذو دائرة مفتوحة .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

2.1.3. نفق هوائي ذو دائرة مغلقة: (Closed Circuit Wind Tunnel)



الشكل 02: نفق هوائي ذو دائرة مغلقة.

2.3. حسب السرعة التي يتم الوصول إليها في غرفة الاختبار:

في هذا النوع من الأنفاق الهوائية نميز نوعين من الجريان :

➤ جريان غير قابل للانضغاط ($M \leq 0.3$)

➤ جريان قابل للانضغاط ($M \geq 0.3$)

1.2.3. أنفاق هوائية تحت صوتية: (Subsonic Wind Tunnel)

تتغير السرعة في هذه الأنفاق من 10 إلى 260 m/s ($M \leq 0.8$) تستخدم للمحاكاة

الحقيقية لحركة الهواء حول السيارات, القطارات, الطائرات,..... إلخ

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه



الشكل 03: نفق هوائي تحت صوتي .

2.2.3. أنفاق هوائية عبر صوتية (Transonic Wind Tunnel):

يتراوح عدد ماك في غرفة الاختبار من $M=0.8$ إلى $M=1.2$



الشكل 04: أنفاق هوائية عبر صوتية .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

3.2.3. أنفاق هوائية فوق صوتية : (Supersonic Wind Tunnel)

تسمح هذه الأنفاق بالحصول على أرقام ماك عالية ($1.2 \leq M \leq 5$).



الشكل 05: نفق هوائي عبر صوتي .

4.2.3. أنفاق هوائية فائقة للصوت : (Hypersonic Wind Tunnel)

تدرس طيران الصواريخ ، طائرات النقل عالية السرعة .



الشكل 06: نفق هوائي عبر صوتي .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

3. حسب طبيعة جدران غرفة الاختبار:

3.1. أنفاق هوائية ذات غرفة اختبار مفتوحة :



الشكل 07: غرفة اختبار مفتوحة.

3.2. أنفاق هوائية ذات غرفة اختبار موجهة :



الشكل 08: غرفة اختبار موجهة .

أنفاق هوائية ذات غرفة اختبار نصف موجهة :



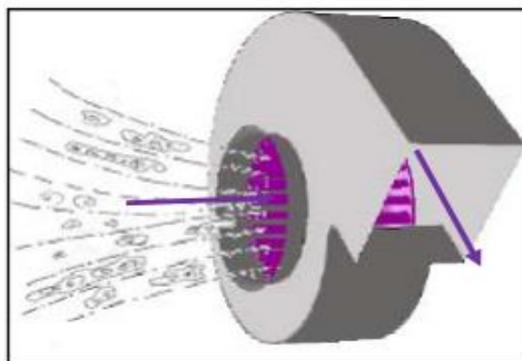
الشكل 09: غرفة اختبار نصف موجهة .

4.3. حسب موقع المروحة :

1.4.3. نفق هوائي من نوع النّسف :حيث يتم وضع المروحة في غرفة التهذئة , و

التي تعتبر مروحة طرد مركزي يدورها محرك كهربائي لتعمل على توفير الهواء داخل النفق الهوائي .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه



الشكل 10: مروحة هوائية من نوع النسف .

1.3.1. نفق هوائي من نوع الشفط : تكون المروحة إما محورية أو طاردة مركزية و

يتم وضعها بعد ناشر المخرج لتوفير الهواء في الأنفاق الهوائية .



الشكل 11: مروحة هوائية من نوع الشفط .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

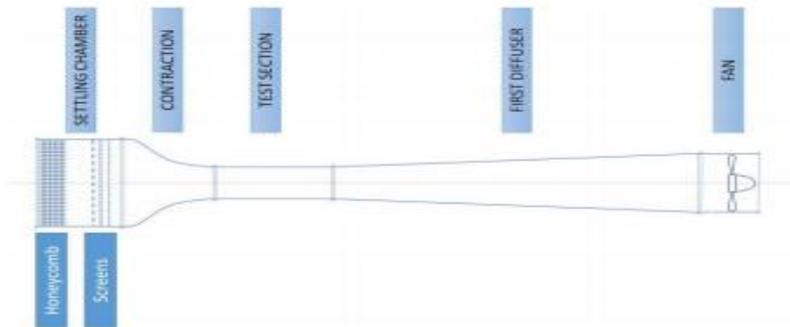
7. عناصر تصميم النفق الهوائي التحت صوتي :

- ❖ غرفة التهدة.
- ❖ أجهزة مضادة للإضطرابات :
- بيت النحل (honey comb).
- الحواجز الشبكية (screens) .
- ❖ المتقارب.
- ❖ غرفة الإختبار.
- ❖ الناشر.
- ❖ المروحة.

8. تصميم عناصر النفق الهوائي التحت صوتي :

يبدأ تصميم النفق الهوائي من غرفة الاختبار , فتبعا لنوع الاختبارات المرغوب فيها داخل غرفة الاختبار يتحدد نوع النفق الهوائي , حيث ترتبط أبعاده مباشرة بالمقطع العرضي لغرفة الاختبار .

يوضح الشكل (12) النفق الهوائي التحت صوتي ذو الحلقة المفتوحة المراد تصميمه :



الشكل 12: العناصر الرئيسية للنفق الهوائي التحت صوتي .

➤ تصميم غرفة الإختبار: Test section design

غرفة الإختبار هي المكان الذي يوضع فيه الجسم المراد دراسته , وهي الخطوة الأولى في تصميم النفق الهوائي، حيث يتم تحديد المعايير المطلوبة (الأبعاد, الشكل وسرعة الهواء) وعلى أساسها يتم التصميم .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

يمكن حساب القطر الهيدروليكي لغرفة الإختبار إنطلاقاً من أبعاد مقطعها العرضي كما هو موضح في المعادلة (1) :

$$D_{hts} = 4 * \frac{A_{ts}}{P_{ts}} = 4 * \frac{l_{ts} * l_{ts}}{4 * l_{ts}} = l_{ts} \quad (1.1)$$

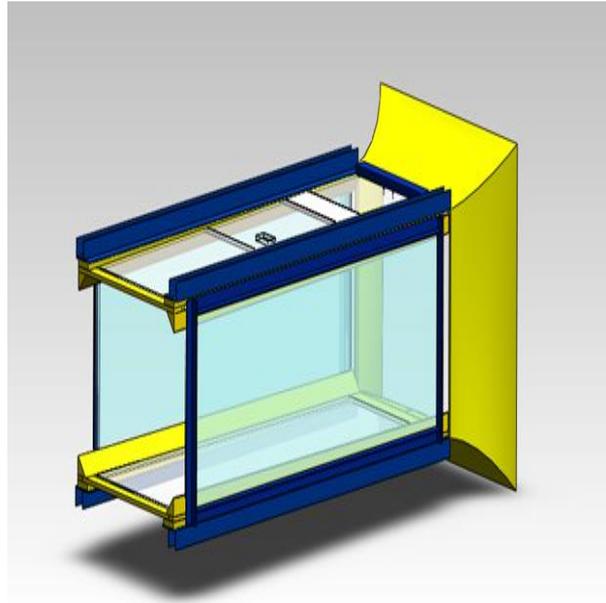
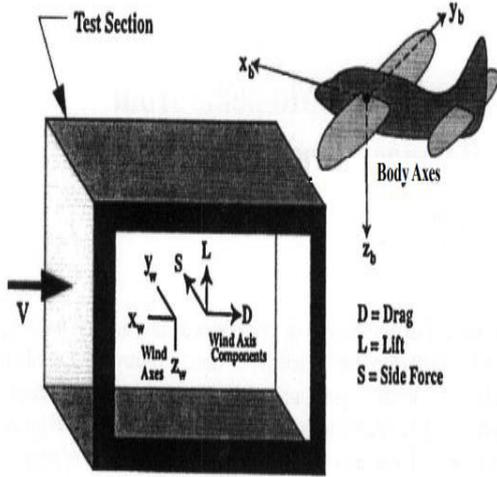
A_{ts} : مساحة المقطع العرضي لغرفة الإختبار.

P_{ts} : محيط المقطع العرضي لغرفة الإختبار.

l_{ts} : طول ضلع المقطع العرضي لغرفة الإختبار .

➤ شرطي طول غرفة الإختبار :

$$0.5 * D_{hts} \leq l_{ts} \leq 3 * D_{hts} \quad (1.2)$$



الشكل 13 : غرفة الإختبار ثلاثية الأبعاد . **الشكل 14 :** غرفة الإختبار و الجسم

المراد دراسته .

1.4 . تصميم المتقارب : convergent design

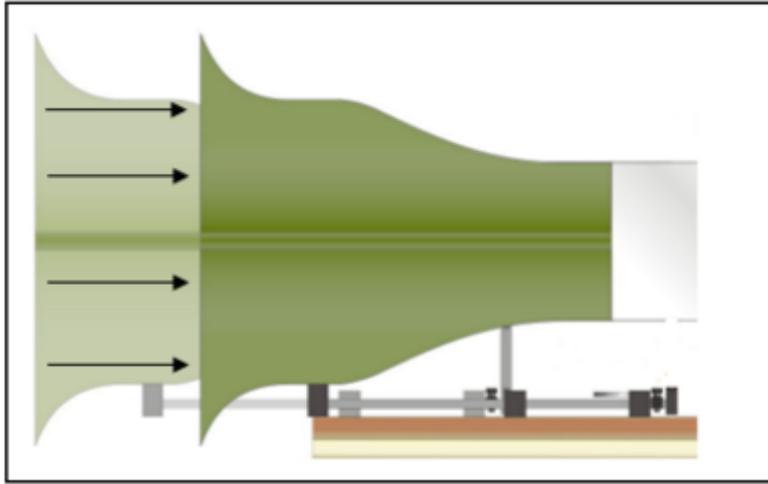
الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

يهدف المتقارب الى تسريع الجريان مع تقليل الإضطراب للحصول على تدفق بسرعة موحدة في جميع أنحاء غرفة الاختبار ,حيث تعتمد هذه السرعة على تصميم المتقارب ,هذا الأخير الذي تتطابق أبعاد وشكل المقطع العرضي لمخرجه مع أبعاد وشكل المقطع العرضي لغرفة الاختبار وذلك لربطهما معا.

مكنت الدراسات التجريبية التي قام بها الباحثون على الجريانات داخل المتقارب ,من فرض نسبة بين مساحتي المقطعين العرضيين لمدخل ومخرج المتقارب و التي يجب أن تكون في المجال (10-6).

يتم تحديد شكل المتقارب من خلال كثير الحدود من الدرجة الخامسة المقترح من طرف الباحثين بيل و ميهتا (Bell- Mehta):

$$Y = [-6\xi + 15\xi^4 - 10\xi^3] * (y_i - y_o) + y_i \quad (1.3)$$



الشكل 15: المتقارب .

y : نصف طول ضلع المقطع العرضي للمتقارب .

y_i : نصف طول ضلع المقطع العرضي لمدخل المتقارب .

y_o : نصف طول ضلع المقطع العرضي لمدخل المتقارب .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

ξ: متغير لا بعدي يعطى بدلالة كل من طول المتقارب (L_{cv})، و المسافة المحورية (X):

$$\xi = \frac{X}{L_{cv}}, 0 \leq X \leq L_{cv} \quad (1.4)$$

• تخضع النسبة بين طول ضلع المقطع العرضي لمدخل المتقارب و طوله المحوري إلى شرطين :

-الشرط الأول :

$$\xi = \frac{L_{cv}}{2y_i} > 0.667 \quad (1.5)$$

-الشرط الثاني :

$$\xi = \frac{L_{cv}}{2y_i} < 1.79 \quad (1.6)$$

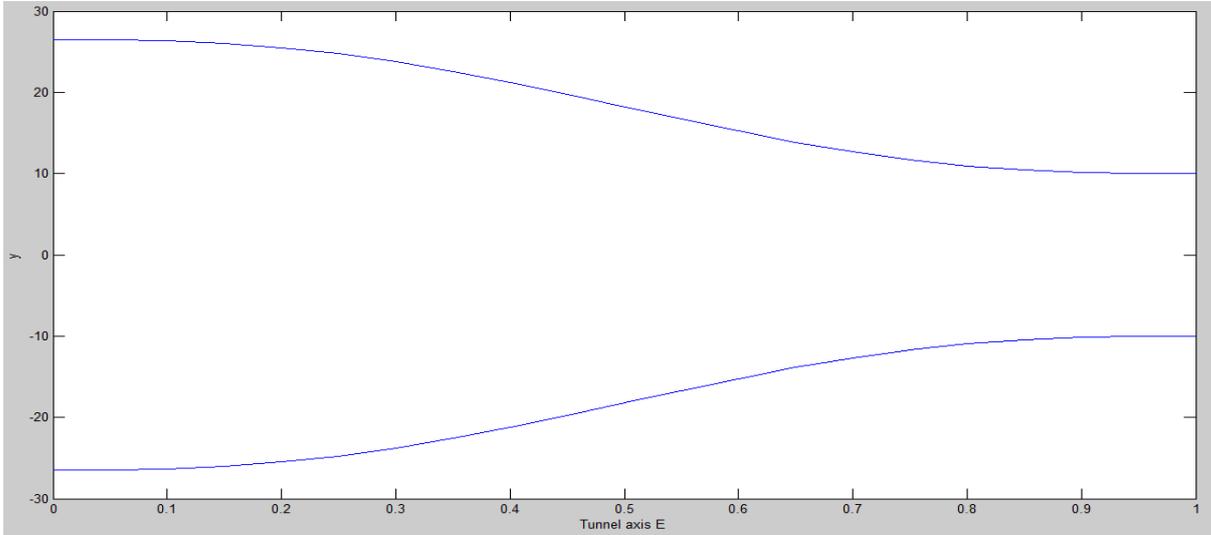
مثال :

نأخذ النسبة بين مساحتي المقطعين العرضيين لمدخل ومخرج المتقارب 7, ونأخذ طول ضلع المقطع العرضي لغرفة الاختبار 20cm تصبح المعادلة كالآتي :

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

$$Y = [-6\xi + 15\xi^4 - 10\xi^3] * (\sqrt{7} - 1) + \sqrt{7} * 10 \quad (1.7)$$

بعد الحصول على المعادلة السابقة (y), قمنا برسمها على برنامج الماتلاب وكذلك قمنا برسم دالة تناظرها بالنسبة لمحور الفواصل (-y) فتحصلنا على شكل المتقارب بشكل دقيق كالآتي :

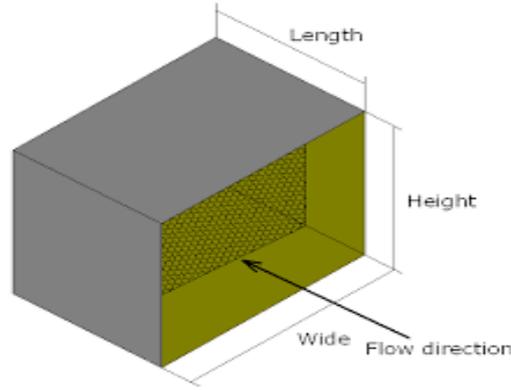


البيان 01: رسم شكل المتقارب بإستخدام برنامج الماتلاب .

3.5. تصميم غرفة التهدة : settling chamber design

تهدف غرفة التهدة إلى التقليل من معدل الإضطراب و الحصول على أكبر قدر ممكن من التدفق الصفيحي، وذلك بوضع بيوت النحل و الحواجز الشبكية التي تعمل على تهدة الجريان ، و أما فيما يخص تصميم غرفة التهدة فأبعادها ترتبط بمدخل المتقارب، حيث يكون المقطع العرضي لغرفة التهدة ثابتا ومساويا للمقطع العرضي لمدخل المتقارب.

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

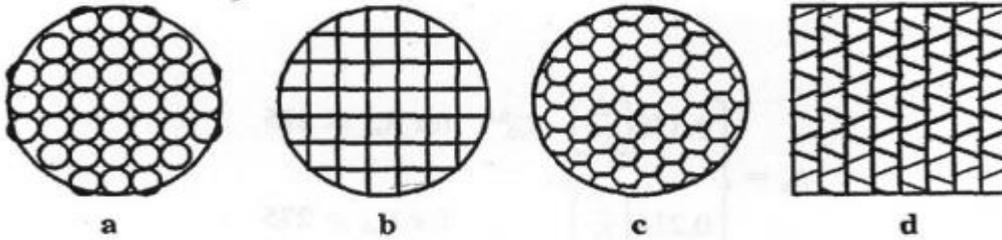


الشكل 16: الأبعاد الهندسية لغرفة التهئة.

4.5. تصميم بيت النحل : honeycomb design

يعمل بيت النحل على تقليص التغيرات في السرعات المهتزة العرضية , في حين له تأثير ضئيل جدا على السرعة المحورية للجريان لأنه يتميز بخلايا لها نفس إتجاه الجريان في غرفة التهئة (إتجاه محوري).

- لبيت النحل أربعة أنواع تختلف من حيث الشكل الهندسي :



الشكل 17: أنواع بيوت النحل .

أما فيما يخص التصميم , تعتبر العناصر التالية عوامل رئيسية في التصميم :

- الطول المحوري لبيت النحل l_h .

- القطر الهيدروليكي للخلية D_{hcell} .

- المسامية β_h .

المسامية β_h : مسامية بيت النحل هي النسبة بين مساحة المقطع العرضي الذي

يجري فيه المائع A_{flow} , و مساحة المقطع العرضي لغرفة التهئة A_{sc} . كالآتي :

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

$$\beta_h = \frac{A_{\text{flow}}}{A_{\text{sc}}} = \frac{A_{\text{flow}}}{A_{\text{sc}}} = \frac{A_{\text{flow}}}{D_{\text{hsc}}^2} \quad (1.8)$$

l_{sc} : طول ضلع المقطع العرضي لغرفة التهئة.

D_{hsc} : القطر الهيدروليكي لغرفة التهئة.

1.4.5. شرطي بيت النحل :

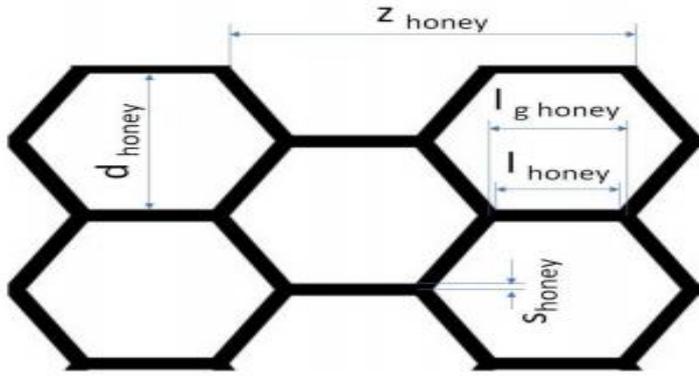
$$6 \leq \frac{l_h}{D_{\text{hcell}}} \leq 8 \quad (1.9)$$

$$\beta_h \geq 0.8 \quad (1.10)$$

4.5. أبعاد الخلايا الهندسية لبيت النحل :

- قطر الخلية d_{honey} .
- سمك الخلية S_{honey} .
- الطول الداخلي للخلية l_{honey} .
- الطول الخارجي للخلية l_{ghoney} .
- طول التقسيمة Z .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه



الشكل 18: الأبعاد الهندسية لبيت النحل .

➤ الأطوال الداخلية والخارجية لبيت النحل:

$$l_{\text{honey}} = \frac{d_{\text{honey}}}{2 * \sin 60^\circ} \quad (1.11)$$

$$l_{\text{ghoney}} = l_{\text{honey}} + 2 * \frac{S_{\text{honey}}}{2 * \tan 60^\circ} \quad (1.12)$$

طول التقسيمة Z:

$$l_{\text{ghoney}} = l_{\text{honey}} + l_{\text{ghoney}} \quad (1.13)$$

التقسيمة Z :

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

$$A_{\text{rectangle}} = l_{\text{honey}} * S_{\text{hone}} \quad (1.14)$$

$$A_{\text{trapeze}} = \frac{(l_{\text{ghoney}} + l_{\text{honey}})S_{\text{honey}}}{2} \quad (1.15)$$

$$A_z = 2 * (A_{\text{rectangle}} + A_{\text{trapeze}}) \quad (1.16)$$

عدد التقسيمات في الإتجاه الشاقولي n_z :

$$n_z = \frac{l_{\text{sc}}}{z} \quad (1.17)$$

عدد التقسيمات في الإتجاه العرضي n_y :

$$n_y = \frac{l_{\text{sc}}}{S_{\text{honey}} + d_{\text{honey}}/2} \quad (1.18)$$

مساحة المقطع العرضي للجزء الصلب من بيت النحل A_{sol} :

$$A_{\text{sol}} = A_z n_z n_y \quad (1.19)$$

3.4.5. صلابة بيت النحل σ_h :

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

$$\sigma_h = \frac{A_{sol}}{A_{sc}} \quad (1.20)$$

العلاقة بين مسامية بيت النحل β_h وصلابته σ_h :

$$\beta_h + \sigma_h = 1 \quad (1.21)$$

حساب القطر الهيدروليكي للخلية D_{hcell} , و الذي يتم تحديده بعد حساب مساحة الخلية A_{cell} :

$$\begin{aligned} A_{cell} &= 6 * \frac{d_{honey} d_{honey}}{2} = 6 * \frac{d_{honey} d_{honey}}{2 \sqrt{3}} \\ &= \frac{3}{2} * \frac{d_{honey}^2}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (1.22)$$

➤ من جهة أخرى لدينا :

$$A_{cell} = \frac{3 d_{honey}^2}{2 \sqrt{3}} = \pi * \frac{D_{hcell}^2}{4} \quad (1.23)$$

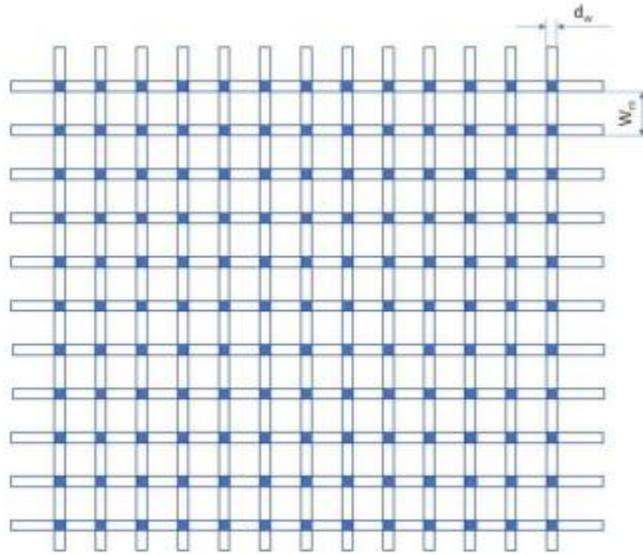
الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

ومنه :

$$D_{hcell} = \sqrt{\frac{6}{\pi\sqrt{3}}} d_{honey} \quad (1.24)$$

5.5. تصميم الحواجز الشبكية: Screens design

تعمل الحواجز الشبكية على تقليل التغيرات في السرعات المهتزة الطولية للجريان مع تأثير ضئيل على اتجاهه , كما ثبت أن استخدام حواجز شبكية مختلفة (واسعة , ضيقة , متوسطة) تكون أكثر كفاءة من حاجز شبكي واحد ضيق من أجل تقليل الإضطراب .



الشكل 19: الأبعاد الهندسية للحاجز الشبكي .

➤ مسامية الحاجز الشبكي β_s :

$$\beta_s = \frac{A_{flow}}{A_{sc}} \quad (1.25)$$

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

A_{flow} : مساحة المقطع العرضي الذي يسري فيه المائع .

A_{sc} : مساحة المقطع العرضي لغرفة التهئة .

1.5. شرط الحاجز الشبكي :

حتى يكون الحاجز الشبكي فعال في الحد من الإضطراب يجب أن يتحقق الشرط الآتي :

$$0.8 \geq \beta_s \geq 0.58 \quad (1.26)$$

➤ المساحة التي تشغلها أسلاك الحاجز الشبكي A_w :

$$D_{hcell} = 2 * n_w l_{sc} d_w - n_w^2 d_w^2 \quad (1.27)$$

n_w : عدد الأسلاك في الحاجز الشبكي .

d_w : قطر السلك .

l_{sc} : طول ضلع المقطع العرضي لغرفة التهئة .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

➤ حساب مساحة مسامية الحاجز الشبكي β_s :

$$\begin{aligned}\beta_s &= \frac{A_{\text{flow}}}{A_{sc}} = \frac{A_{sc} - A_w}{A_{sc}} = \frac{l_{sc}^2 - 2n_w l_{sc} d_w + n_w^2 d_w^2}{l_{sc}^2} \\ &= 1 - \frac{2n_w d_w}{l_{sc}} + \frac{d_w^2 n_w^2}{l_{sc}^2} = \left(1 - \frac{d_w n_w}{l_{sc}}\right)^2 \quad (1.28)\end{aligned}$$

➤ طول التقسيمة للحاجز الشبكي W_m :

$$W_m = \frac{l_{sc}}{n_w} \quad (1.29)$$

l_{sc} : المقطع العرضي لغرفة التهئة.

n_w : عدد الأسلاك.

بتعويض المعادلة (1.29) في المعادلة (1.28) نجد :

$$\beta_s = \left(1 - \frac{d_w}{W_m}\right)^2 \quad (1.30)$$

6.5. تصميم الناشر: diffuser design

الناشر هو العنصر الأخير في النفق الهوائي , و هو عبارة عن قناة ذات مساحة متزايدة حيث مساحة الدخول و التي يبدأ منها التصميم تأخذ شكلا مربعا و التي تتساوى

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

مساحتها مع مساحة المقطع العرضي لغرفة الاختبار , أما مساحة الخروج فتتساوى مع مساحة المقطع العرضي للمروحة و التي يتم تحديدها بفرض نسبة (R) بين مساحتي مدخل و مخرج الناشر كما توضحه المعادلة التالية :

$$3 \geq R \geq 2 \quad (1.31)$$

حيث

$$R = \frac{A_{dout}}{A_{din}} \quad (1.32)$$

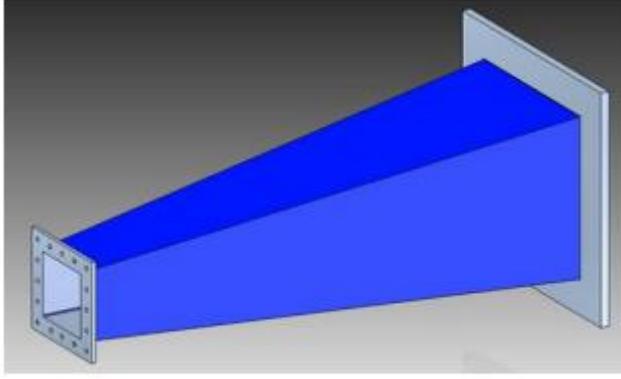
أمّا فيما يخص تصميم الناشر، فقاعدة التصميم المعتادة في النواشر تحت الصوتية حددت زاوية ميل جدران الناشر على أنها أقل من 5°، وكذلك حددت أحسن زاوية ميل والتي تكون محصورة بين 3° و 3.5°، ويمكن تعريف زاوية التباعد الهندسي للناشر، بالمعادلة التالية :

$$\theta = \arctan \left[\frac{1 \sqrt{R} - 1}{2 L_d / D_{hts}} \right] \quad (1.33)$$

L_d : الطول المحوري للناشر.

D_{hts} : طول ضلع مدخل الناشر .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه



الشكل 20: الناشر في هيئة ثلاثية الأبعاد .

7.5. تصميم المروحة: Fan Design

تعمل المروحة على توليد حركة للهواء داخل النفق الهوائي تحت تدفق معين، ويمكن للمروحة أن تكون محورية أو طاردة مركزية، ناسفة أو شافطة، ويتم إختيار نوع المروحة اللازمة للنفق الهوائي حسب مكان تموقعها، فمثلا في دراستنا هذه تم وضع المروحة في اخر النفق الهوائي أي عند مخرج الناشر، وعليه يجب إستعمال مروحة شافطة من النوع المحوري .

➤ حساب قطر المروحة :

$$\frac{A_f}{A_{ts}} = R \Rightarrow A_f = R * A_{ts} \Rightarrow \frac{\pi D_f^2}{4} = 2 * D_{hts}^2$$
$$\Rightarrow D_f = 2 * \sqrt{\frac{2}{\pi} D_{hts}^2} \quad (1.34)$$

➤ حساب سرعة الهواء على مستوى المروحة :

بتطبيق قانون إنحفاظ الكتلة بين المروحة وغرفة الاختبار يمكن كتابة :

$$\rho V_{ts} A_{ts} = \rho V_f A_f \Rightarrow V_f = \frac{A_{ts}}{A_f} V_{ts} = \frac{1}{R} V_{ts} \quad (1.35)$$

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه



الشكل 21: مروحة محورية .

9.5. تصميم الرابط : adapté design

رغم تساوي مساحتي المقطع العرضي لمخرج الناشر و المقطع العرضي للمروحة لكنهما مختلفان في الشكل الهندسي , لهذا يجب استخدام الرابط لتكييف الشكل الهندسي من المربع إلى الدائري , حيث يتطابق المقطع العرضي لمدخل الرابط مع المقطع العرضي لمخرج الناشر , بينما يتطابق المقطع العرضي لمخرجه مع المقطع العرضي للمروحة .

10.5. تصميم قناة المروحة : duct fan design

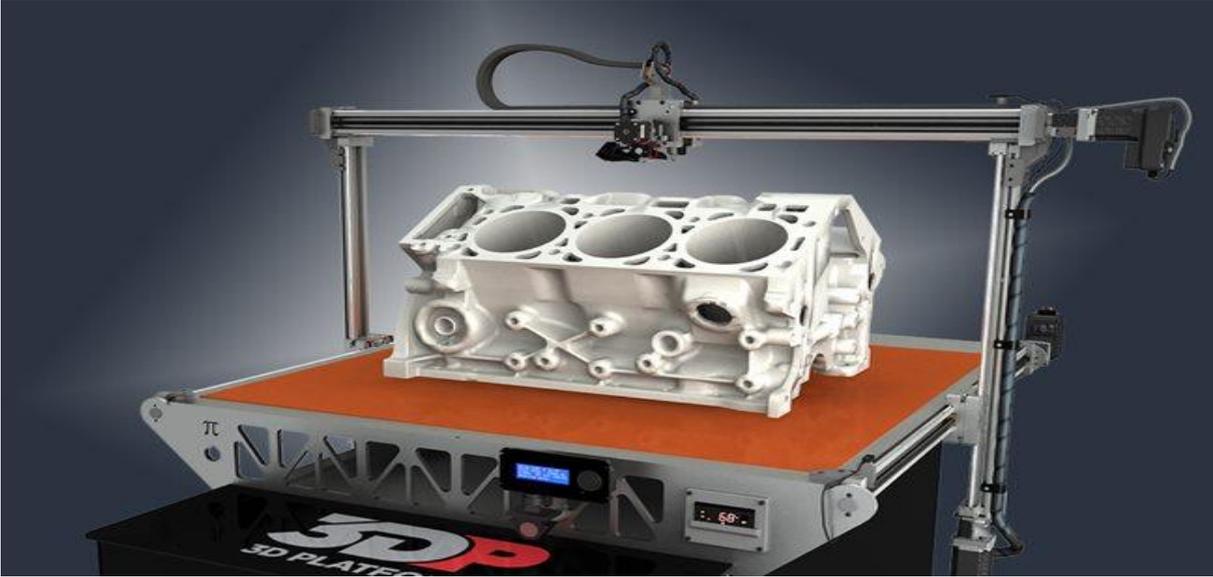
هي قناة مقطوعها العرضي دائري مساو للمقطع العرضي للمروحة , تعمل على تثبيت المروحة .

الفصل الأول: عموميات حول النفق الهوائي وعناصر تصميمه

الفصل الثاني

1. مقدمة:

تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد إحدى معالم الثورة التكنولوجية في العصر الحديث، حيث إقتحمت العديد من المجالات والقطاعات الصناعية في حياة البشر اليومية إلى أن وصلت إلى مجال التشييد والبناء والطب وأبسط التفاصيل الحياتية، لقد اثبتت الطباعة ثلاثية الأبعاد إمكانياتها الواعدة بالفعل في عدة مجالات، حيث تعتبر الطباعة ثلاثية الأبعاد أسرع وأوفر وأسهل في الإستعمال من التكنولوجيات الأخرى، بالإضافة إلى أنها تتيح للمطورين القدرة على طباعة أجزاء متداخلة معقدة التركيب، كما يمكن صناعة أجزاء من مواد مختلفة وبمواصفات ميكانيكية وفيزيائية مختلفة ثم تركيبها مع بعضها البعض، وتقدم الطباعة ثلاثية الأبعاد عروضاً هائلة لتطبيقات الإنتاج، حيث تستخدم هذه التقنية في المجوهرات، الأحذية، التصميم الصناعي، العمارة، الهندسة، الإنشاءات، السيارات، الطائرات، طب الأسنان والصناعات الطبية. وإذا تم إستخدام البرمجيات الصحيحة، سيعمل ذلك على تغيير معالم العديد من الصناعات قريباً.



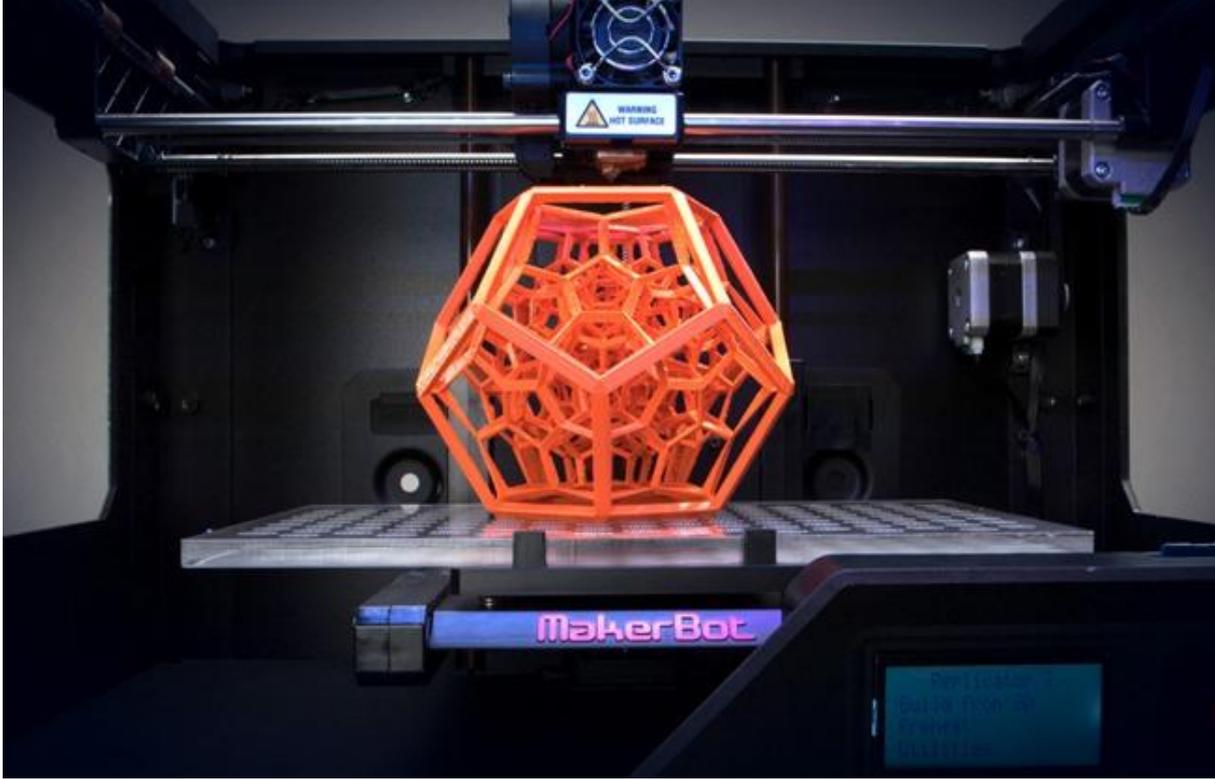
الشكل 22: طباعة ثلاثية الأبعاد

2. ماهي الطباعة ثلاثية الأبعاد ؟

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي تقنية مبتكرة تمكّنك من إنشاء المجسمات من خلال نموذج رقمي. حيث تعرف الطباعة ثلاثية الأبعاد باسم التصنيع المضاف. وهو ينطوي على عملية أخذ النموذج الرقمي، وترجمته إلى سلسلة من شرائح أفقية في لغة الآلة، ثم طباعته عن طريق

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

إضافة طبقات متعاقبة ودقيقة جداً (لا يتجاوز سمكها أجزاء من المليمتر) من المواد حتى يتم إنشاء الجسم ثلاثي الأبعاد باستخدام عدد من التقنيات المختلفة.



الشكل 23: طباعة ثلاثية الأبعاد

كما أن الطباعة ثلاثية الأبعاد تجلب اثنين من الابتكارات الأساسية: التلاعب في المجسمات في شكلها الرقمي و تصنيع أشكال جديدة عن طريق إضافة المواد.

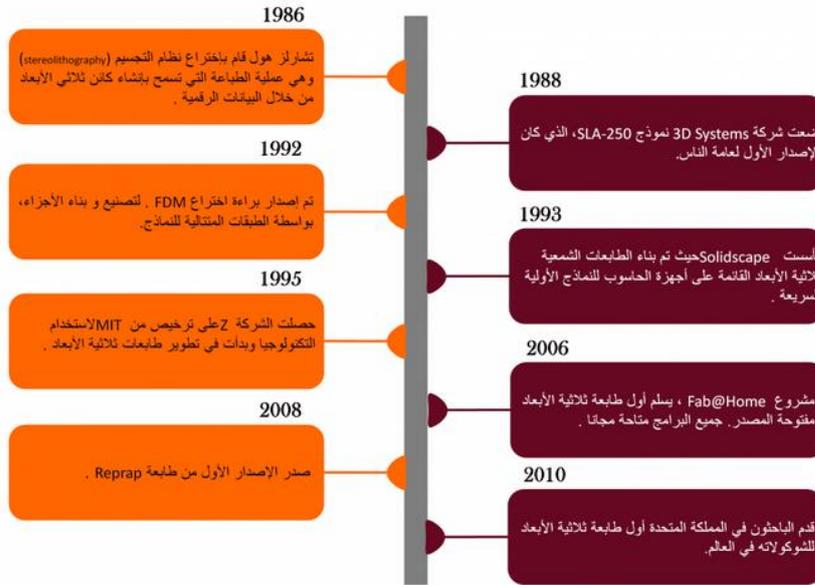
3. تاريخ موجز للطباعة ثلاثية الأبعاد:

ترجع بداية الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى عام 1976، عندما تم اختراع الطباعة النافثة للحبر. في بداية الثمانينيات، ظهرت أول تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، وفي ذلك الحين كانت تسمى بتقنية النماذج الأولية السريعة. ويرجع ذلك إلى أن العملية كانت في الأصل تصور كوسيلة سريعة وأكثر فعالية من حيث التكلفة لإنشاء نماذج لتطوير المنتجات داخل الصناعة.

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

في عام 1984، ومع مزيد من التعديلات والتطور والتقدم للمفهوم النافثة للحبر تحولت التكنولوجيا من الطباعة مع الحبر إلى الطباعة مع المواد. حيث يرجع أصول الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى عام 1986، عندما تم إصدار أول براءة لجهاز المجسمات (SLA) وهذه البراءة تنتمي إلى تشارلز هال. ومنذ ذلك الحين، تم تطوير مجموعة متنوعة من تطبيقات تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد عبر العديد من الصناعات، وفيما يلي لمحة موجزة عن تاريخ تطور الطباعة ثلاثية الأبعاد.

ولا تزال تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في تطور مستمر حتى الوقت الحالي.

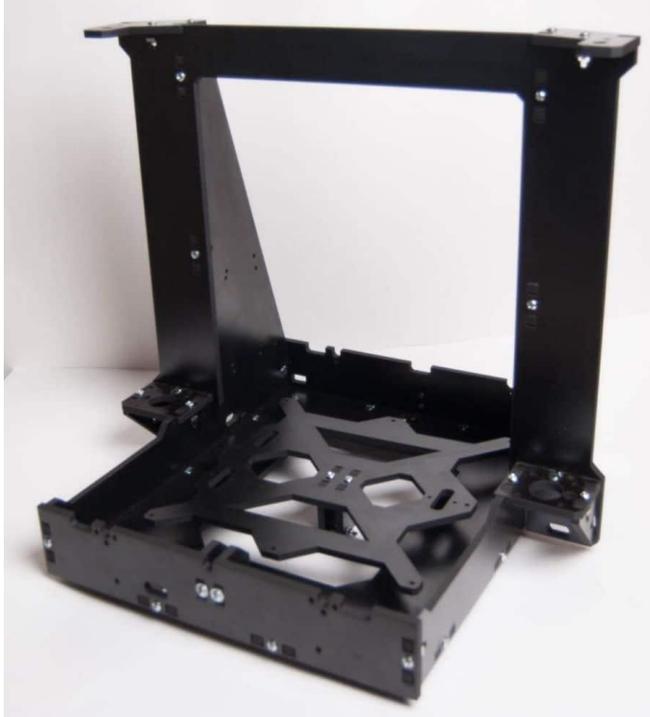


الشكل 24: تاريخ الطباعة ثلاثية الأبعاد

4. أجزاء الطباعة ثلاثية الأبعاد:

➤ الهيكل:

يمثل الهيكل الإطار الخارجي الذي يربط جميع أجزاء الطباعة معاً، ويكون إما مفتوح أو مغلق. ويجب أن يكون هيكل الطباعة صلباً وقوياً للطباعة بشكل دقيق. فإذا كان الإطار يتأرجح حولها، لن تكون قادر على الحصول على طباعة دقيقة، وذلك لأن المحركات تتحرك بسرعة وإذا زادت عن حد معين فإن الطباعة تبدأ بالاهتزاز مما يؤثر على نتائج الطباعة.

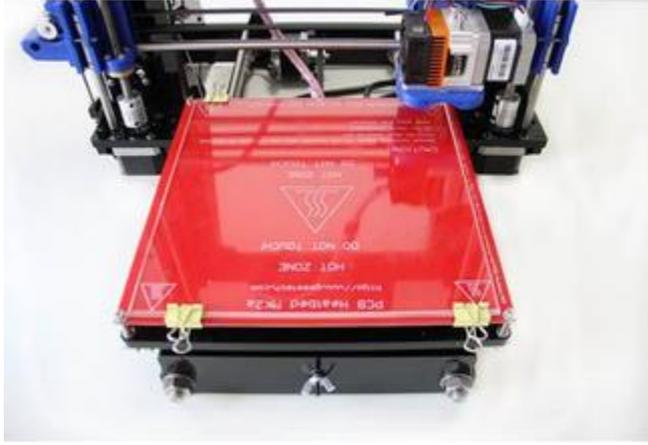


الشكل 25: هيكل الطابعة ثلاثية الأبعاد

أنواع مختلفة من الألومنيوم، الخشب، أو الحديد، أو الفولاذ المقاوم للصدأ عادة تشكل الإطارات. وعادة ما تشكل المفاصل المطبوعة بالليزر أو المفصلة ثلاثي الأبعاد ما تبقى من الإطار.

➤ منصة البناء:

كل طابعة ثلاثية الأبعاد تحتاج إلى سطح مستوي لبناء المجسمات المطبوعة عليه. ويسمى هذا السطح عادة منصة البناء. بعض الطابعات لديها منصة طباعة ساخنة، حيث يستطيع هذا السطح تحسين جودة الطباعة بشكل كبير لأنه يحافظ على دفء البلاستيك المخرج أثناء فترة الطباعة لمنعه المجسم من التحرك والاعوجاج وبالتالي تشويه شكل المجسم.



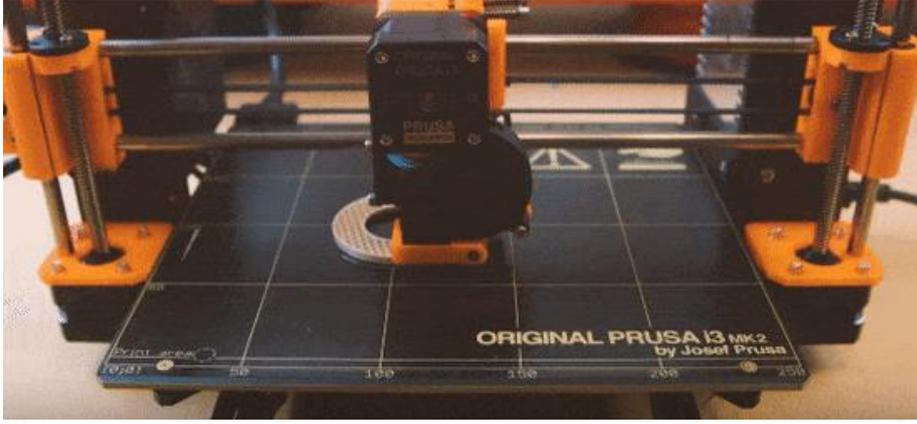
الشكل 26: منصة الطباعة ثلاثية الأبعاد

البعض الآخر من الطابعات تحتوي على منصة زجاج أو لوحة أخرى غير ساخنه تحتاج إلى أن تكون مغطاة بشريط من نوع ما لضمان التصاق الطبقة الأولى من الجسم على منصة البناء.

➤ الأجزاء المتحركة

الطابعات ثلاثية الأبعاد بحاجة إلى نقل وتحريك الطارد ومنصة البناء من نقطة لأخرى بسرعة ودقة عالية لبناء المجسمات. فهي تحقق عملية الحركة عن طريق استخدام مجموعة من المحركات الخطوية حيث يتم ربطها بمسامير أو حزام أو غيرها من النظم المعلقة على البكرات.

الفصل الثاني: الطابعة ثلاثية الأبعاد



الشكل 27: منصة الطابعة ثلاثية الأبعاد

الطابعة ثلاثية الأبعاد يجب أن تتحرك في ثلاثة أبعاد X ، Y ، Z لبناء النموذج ثلاثي الأبعاد. لذلك هناك 3 إلى 4 محركات خطوية والتي تستخدم لإعطاء الحركات إلى هذه المحاور. هناك أنواع مختلفة من الطابعات المتاحة التي تستخدم مزيج مختلف من الحركات، فتتحرك المنصة في اتجاه Y و تحرك الفوهة باتجاه X و Y أو تتحرك المنصة في اتجاه Z وتتحرك الفوهة في اتجاه X و Y ، ويوجد لكل اتجاه محرك. ويستخدم محرك واحد آخر لدفع المادة (الخيوط) باتجاه الفوهة الساخنه.

4.4. الكترونيات التحكم:



الشكل 28: الكترونيات التحكم الطابعة ثلاثية الأبعاد.

يتم التحكم في العديد من الطابعات مفتوحة المصدر بواسطة المعالجات الدقيقة المتوافقة مع الاردوينو. أنظمة التحكم بسيطة جدا، وهي المسؤولة عن تشغيل جميع تلك

الفصل الثاني: الطابعة ثلاثية الأبعاد

المكونات والتحكم فيها. يقوم المعالج الصغير بإرسال الأمر ولكن ليس لديه اي طريقة لمعرفة ما إذا كان الأمر نُفذ بشكل صحيح أو لا.

5. أجزاء النهاية الساخنة للطابعة:

1.5 الطارد/البثق:

تجهز معظم الطابعات بأداة طرد واحدة. يعتبر الطارد الجزء المسؤول عن سحب المادة الخام وصهرها ومن ثم نفثها إلى منصة البناء . ويتكون الطارد على عدة أجزاء: محرك الطارد والتي تدفع الخيوط إلى النهاية الساخنة، حيث يتكون الطرف الساخن من سخان (heater) ، وفوهة (Nozzle)، وجهاز استشعار حرارة thermistor ، لمعرفة مدى سخونة السطح.

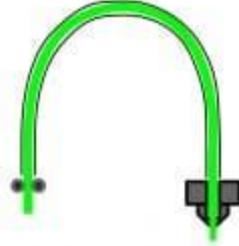


الشكل 29: الطارد/البثق.

وجود طارد واحد تمكّنك من طباعة الجسم باستخدام لون واحد (أو خامات واحدة) فقط في الوقت نفسه. وبهذا لكي تستطيع تغيير اللون أثناء الطباعة يجب إيقاف الطباعة واستبدال بكرة الأسلاك بلون آخر (أو مادة أخرى). في حين بعض الطابعات الأخرى، تحتوي على طاردين اثنين، فتكون قادرة على طباعة المجسمات باستخدام اثنين من المواد (أو لونين) سوياً.

الفصل الثاني: الطابعة ثلاثية الأبعاد

أنواع الطارد:

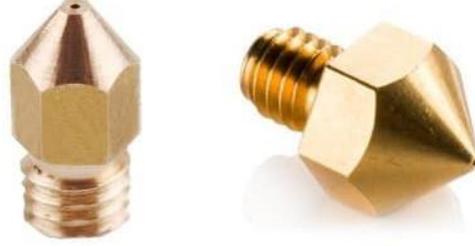
النمط الآخر من الطارد يعرف باسم Bowden	محرك الطرد المباشر (direct-drive extruder)
	
<p>هنا يتم فصل ترس التدوير عن النهاية الساخنة مع انبوب التوجيه . يعمل الطارد البعيد هنا بنفس الطريقة التي يستخدمها الطارد المباشر، ومع ذلك فإن الفرق هو ان الخيط يجب أن يسافر مسافة خلال أنبوب للوصول أخيرا إلى النهاية الساخنة.</p> <p>والسبب الرئيسي لاستخدام Bowden هو انه يتحرك المحرك الثقيل بعيدا عن الفوهة (Nozzle) ، والتي يمكن ان تجعل جزء من الطارد الذي يتحرك أخف بكثير. وهذا يمكن أن يسمح بسرعة طباعة أسرع، ولكن على حساب نظام البثق الأكثر تعقيداً.</p>	<p>الطارد يحتوي على المحرك وترس التدوير لدفع الخيوط (المواد) على الجزء العلوي من النهاية الساخنة. في الصورة يمكن أن ترى مخطط مبسط لكيفية عمله. يتم تدوير الترس على وجه التحديد من قبل المحرك الخطوي. ثم دفع الخيوط إلى النهاية الساخنة. يمكن للترس التدوير إلى الأمام أو الخلف لاستخراج الخيوط من النهاية الساخنة عند تغيير الخيوط.</p>

5. الفوهة: (Nozzle)

الفوهة هي واحدة من القطع الأكثر أهمية من الطابعة. تحتوي الفوهة على ثقب صغير لخروج المادة المنصهرة. إلى حد ما، مواد الفوهة والجودة تحدد المواد التي يمكن للطابعة

الفصل الثاني: الطابعة ثلاثية الأبعاد

صهرها بشكل آمن. فالفوهة ذات النوعية الجيدة يمكن التعامل مع بولي كربونات (polycarbonate) والنايلون وغيرها من البلاستيك ذو درجة حرارة أعلى.



الشكل 29: الفوهة.

الفوهات قابلة للتبديل، يختلف قطر الفوهة حسب حجم المنتج ودقة وسرعة الإنتاج. بالعادة تكون الفوهة 0.4 mm، وفي حين قد تستخدم فوهة أصغر للحصول على التفاصيل الدقيقة أو فوهة أكبر لطباعة أسرع.

➤ **المحرك الخطوي:**



الشكل 30: المحرك الخطوي.

الفصل الثاني: الطابعة ثلاثية الأبعاد

ووظيفته سحب المادة الخام ودفعها إلى أنبوبة التسخين عن طريق ترس التدوير. يتم التحكم في المحرك من لوحة التحكم لتعيين مقدار الكمية المراد سحبها وسرعة السحب والانصهار ومقدار التراجع.

3.5. سخان:



الشكل 31: السخان.

يقوم برفع حرارة المادة الخام لدرجة الانصهار ليسهل صبها . ويحتاج السخان إلى حساس للحرارة للتحكم ومعرفة درجة الحرارة من لوحة التحكم.

5.5. أنبوبة التسخين:



الشكل 32: أنبوبة التسخين.

يتم دفع المادة الخام فيها عن طريق المحرك لتصل إلى السخان. وهي مهمة جدا لضمان أن الحرارة لا تنتقل إلى البلاستيك وتقوم بصهره قبل أن يصل إلى الفوهة. وتسمى هذه الظاهرة بزحف الحرارة وتسبب التكسد خاصة مع PLA.

6.5. المبرد أو المروحة :



الشكل 33: المروحة.

صميم أنبوبة التسخين وحده غير كافي فالأنبوبة تحتاج غالبا إلى تبريد لضمان صلابة الجزء الذي فوقها وعدم تأثره بحرارة السخان. فتعمل هذه المروحة كلما كانت النهاية الساخنة دافئه.

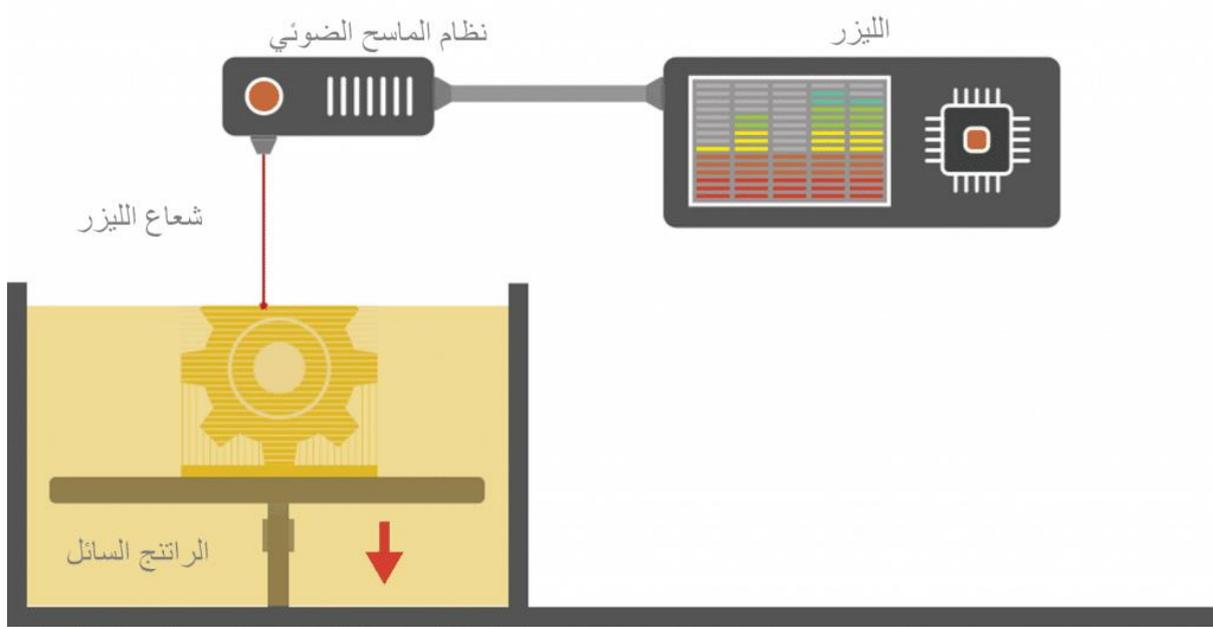
6. أنواع من الطابعات ثلاثية الأبعاد أهمها:

1.5. ستيريوليثغرافي: (stereolithography)

SLA تمثل أقدم التقنيات في الطباعة ثلاثية الأبعاد. وهي عملية تعتمد على الليزر والتي تستخدم التبلر الضوئي لصنع مجسمات صلبة من السوائل. فهي تستخدم خزان مليئا براتينج السائل الضوئي التبلر قابل للمعالجة باستخدام الليزر لبناء المجسم النهائي طبقة بعد أخرى. وهي عملية معقدة، ولكن ببساطة، يتم وضع الراتنج فوتوبوليمر في وعاء مع المنصة المنقولة في الداخل، يتم توجيه شعاع الليزر في محاور X-Y عبر سطح الراتنج وفقا للبيانات المقدمة إلى الجهاز، ثم يقوم برسم مقطع عرضي من شكل المجسم على سطح الراتنج لتشكيل أجزاء صلبة بطريقة دقيقة. وبمجرد الانتهاء من الطبقة، تقوم منصة الجهاز

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

بالهبوط لمسافة تساوي سمك طبقة واحدة) على محور (Z) يستمر هذا حتى يكتمل الكائن بأكمله ويمكن رفع المنصة من الوعاء لإزالته.



الشكل 34: الطباعة من نوع ستيريوليثوغرافي.

بسبب طبيعة عملية SLA ، فإنها تتطلب هياكل لدعم بعض الأجزاء البارزة في المجسمات، هذه الهياكل تحتاج إلى إزالة يدويا .ومن حيث خطوات المعالجة، العديد من المجسمات ثلاثية الأبعاد المطبوعة باستخدام SLA تحتاج إلى تنظيف ومعالجة. العلاج ينطوي على خضوع الجزء إلى ضوء مكثف في آلة تشبه الفرن لتصلب الراتنج.

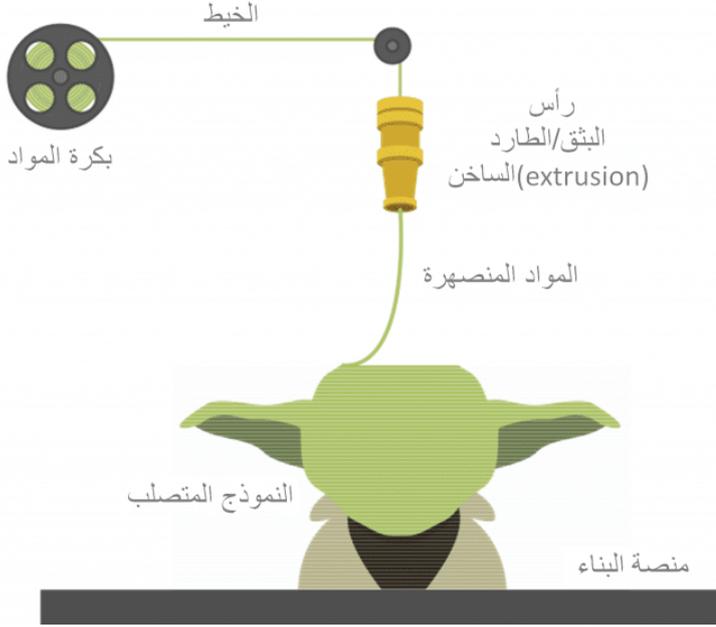
يتم قبول المجسم عموما باعتبارها واحدة من عمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد الأكثر دقة. ومع ذلك فإن عملية المعالجة المطلوبة يمكن أن تجعل المنتج أكثر هشاشة. وهي شعبية في مجال الصناعات مثل المجوهرات وطب الأسنان التجميلي.

6. النمذجة بالترسيب المنصهر: (FDM)

عملية سحب المواد بالحرارة هي الأكثر شيوعا، والاسم الأكثر شعبية لهذه العملية هي النمذجة بالترسيب المنصهر . (FDM) تعمل هذه العملية عن طريق ذوبان خيوط البلاستيك التي يتم سحبها من البكرة ليغذي فوهة الطارد (extruder) الساخن والذي يستطيع التحكم

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

في السريان بوقفه أو تشغيله، ويدفع البلاستيك المنصهر في إحداثيات X و Y في حين أن منصة البناء تنخفض في اتجاه Z عند الانتهاء من كل طبقة لتشكيل طبقات متتالية على منصة البناء وفقا للبيانات ثلاثية الأبعاد المقدمة إلى الطباعة.



الشكل 35: الطباعة من نوع النمذجة بالترسيب المنصهر.

تقوم الآلة باستخدام خامتين، واحدة للنموذج النهائي وواحدة لبناء الدعم في حال كان الجسم يحتوي على بروز في بعض الأجزاء، حيث يتم التخلص منه بعد ذلك.

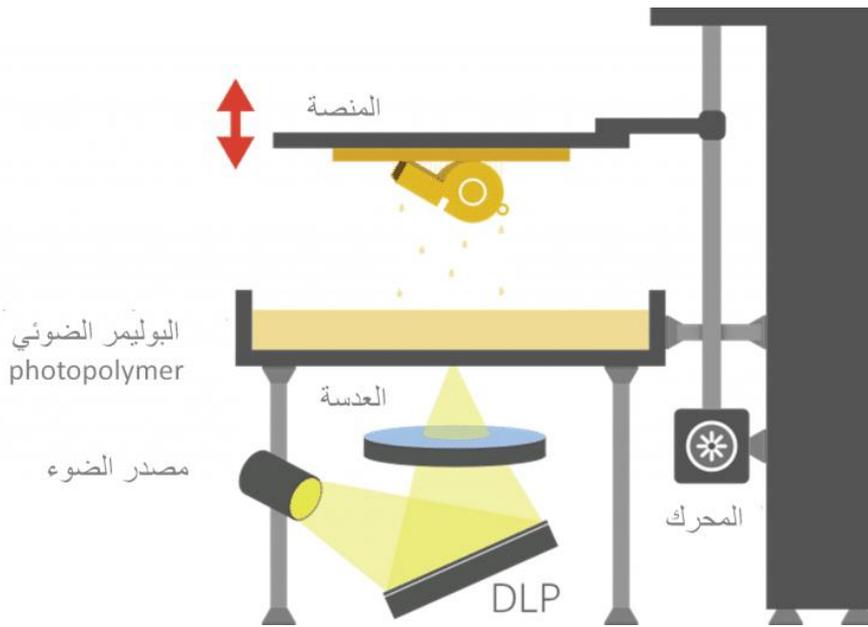
هذا النوع من الطابعات ثلاثية الأبعاد هو وسيلة فعالة من حيث التكلفة لتطوير المنتجات والنماذج الأولية السريعة في قطاع الأعمال الصغيرة وقطاع التعليم لأنها قادرة على تصنيع أجزاء قوية موثوق بها نسبيا وبسرعة، على الرغم من أن عملية ما بعد المعالجة يمكن أن تكون مطلوبة.

3.6 معالجة الضوء الرقمي: (DLP)

معالجة الضوء الرقمي (DLP) و ستيروليثوغرافي (stereolithography) لديهم الكثير من القواسم المشتركة. يستخدم كلا النوعية البوليمر الضوئي السائل ((photopolymers)، إلا أن الفرق الرئيسي هو مصدر الضوء DLS. تستخدم

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

مصدر ضوء أكثر تقليدية، مثل المصباح القوسي، مع لوحة عرض الكريستال السائل أو شبكة من المرايا الصغيرة. هذه المرايا قابلة للإمالة ذهابا وإيابا. فعند إمالة المرآة، فإنها تعكس الضوء وينشئ بكسل مضئ، وعندما تميل للجهة الأخرى فيكون بكسل مظلم. يتم استخدام هذه التكنولوجيا في أجهزة العرض السينمائي، والهواتف المحمولة، وأيضا في الطابعات ثلاثية الأبعاد. حيث يتم تطبيق الضوء على سطح كامل من الراتنج البوليمر الضوئي في تمرير واحد، مما يجعله أسرع من SL.



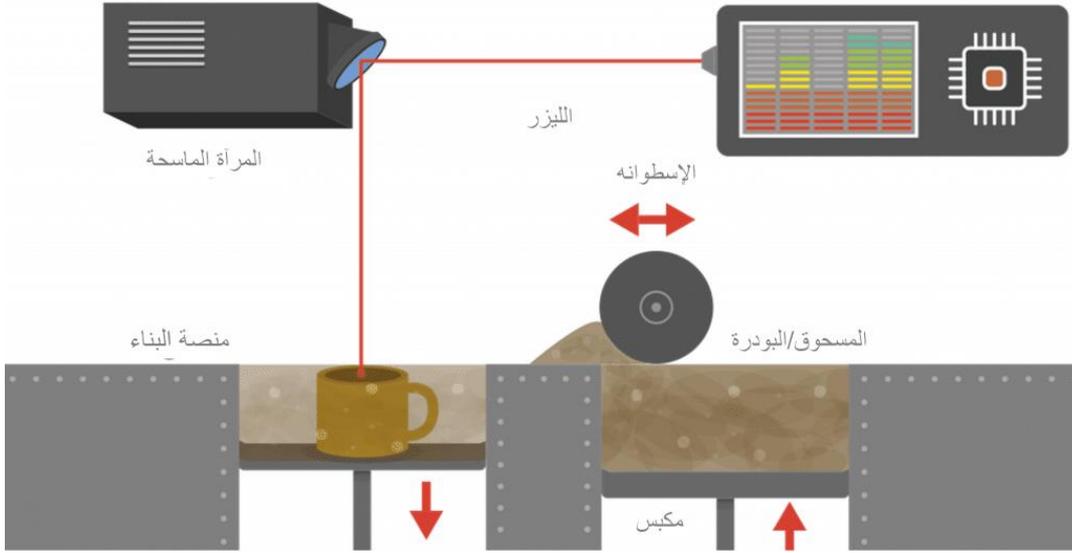
الشكل 35: الطباعة من نوع معالجة الضوء الرقمي.

وأیضا مثل SL ، DLP تنتج أجزاء دقيقة للغاية مع تصميم ممتاز، ولكن أوجه التشابه أيضا تشمل نفس المتطلبات لهياكل الدعم وما بعد المعالجة. ومع ذلك، هناك ميزة واحدة للـ DLS أكثر من SL هو أن هناك حاجة فقط لراتنج ضئيل لتسهيل هذه العملية، مما يؤدي إلى تقليل النفقات وانخفاض تكاليف التشغيل.

4.5. التليد الانتقائي بالليزر: (SLS)

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

هي مماثلة لـ SLA ، ولكن الفرق الرئيسي هو أن هذا النوع من الطباعة ثلاثية الأبعاد يستخدم مسحوق من المواد في منطقة البناء بدلا من الراتنج السائل. تستخدم هذه التقنية ليزر عالي القدرة للحام الجزيئات الصغيرة من البلاستيك أو المعادن في كتلة صلبة تحمل شكل الجسم المطلوب. حيث يتم توجيه الليزر عبر منصة الحاملة للمسحوق، وفقا للبيانات ثلاثية الأبعاد المقدمة للجهاز، في محاور X-Y كما يتفاعل الليزر مع المسحوق/البودرة فيقوم بلحم هذا الجزيئات بشكل انتقائي لتشكل طبقة صلبة. وبمجرد الإنتهاء من طبقة تنخفض المنصة التي تحمل المسحوق درجة إلى الأسفل، بمقدار سمك الطبقة المطلوبة، تدريجيا وتضاف طبقة جديدة من البودرة، ومن ثم تعاد نفس العملية مع طبقة جيدة، وهكذا حتى يكتمل الشكل.



الشكل 36: الطباعة من نوع التلييد الانتقائي بالليزر.

حجرة البناء مغلقة بإحكام، كما انه من الضروري الحفاظ على درجة حرارة دقيقة خلال عملية محددة لنقطة انصهار مسحوق المواد. وبمجرد الانتهاء، يتم إزالة منصة المسحوق بالكامل من الجهاز ويمكن إزالة المسحوق الزائد لترك الأجزاء المطبوعة. وتتمثل إحدى المزايا الرئيسية لهذه العملية في أن طبقة البودرة التي لم يمسهها الليزر تظل على حالتها، مما يجعلها تشكل بناءً داعماً للجسم النهائي وهي ميزة لتقنية SLS ، حيث لا يحتاج المصمم إلى صنع هيكل إضافي للدعم.

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

ومع ذلك، على الجانب السلبي، بسبب ارتفاع درجة الحرارة المطلوبة لتلبد الليزر، يمكن أن تكون أوقات التبريد طويلة. وعلاوة على ذلك، كانت المسامية قضية تاريخية لهذه العملية، وبينما كانت هناك تحسينات كبيرة نحو أجزاء كثيفة، لا تزال بعض التطبيقات تستلزم ترسيب مع مادة أخرى لتحسين الخصائص الميكانيكية.

ويستخدم SLS على نطاق واسع لتطوير المنتجات والنماذج الأولية السريعة في مجموعة واسعة من الصناعات التجارية. المواد المستخدمة في SLS يمكن أن تتراوح من النايلون و الزجاج والسيراميك إلى الألومنيوم والفضة وحتى الفولاذ.

7. المواد المستخدمة في عملية الطباعة:

خيوط الطباعة ثلاثية الأبعاد هي الحبر الذي تستخدمه الطباعة ثلاثية الأبعاد وأهميتها لا يمكن الاستهانة بها عند السعي لتحقيق نتائج عالية الجودة.



الشكل 37: مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد.

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

قد قطعت المواد المتاحة للطباعة ثلاثية الأبعاد شوطا طويلا منذ الأيام الأولى لهذه التكنولوجيا. يوجد الآن مجموعة واسعة من أنواع المواد المختلفة، والتي يتم توفيرها في حالات مختلفة (مسحوق، خيوط، كريات، حبيبات، الراتنج وغيرها). الخيوط هي المادة التي يتم استخدامها في الأغلب من قبل الطابعات لإنشاء المجسمات. حيث تأتي في مجموعة متنوعة من الأحجام والأنواع والألوان، وهذا يتوقف إلى حد كبير على ما تريد إنشائه. الخيوط مصنوعة من مجموعة متنوعة من المواد مثل البلاستيك، والنايلون، واللدائن.

حيث يجري الآن تطوير مواد محددة بوجه عام لمنصات محددة تقوم بتنفيذ تطبيقات مخصصة (مثل على ذلك في مجال قطاع الأسنان) مع خصائص مادية تتناسب بدقة مع التطبيق المستخدم لأجله.

8. كيفية اختيار المواد المناسبة:

انت بحاجة إلى معرفة أي المواد هي مناسبة للمنتج النهائي الخاص بك. من هناك يمكنك اختيار أي نوع من الطباعة التي يجب عليك شراءها. وعند شراء خيوط الطباعة ثلاثية الأبعاد انت بحاجة إلى أن تأخذ في الاعتبار الكثير من الميزات المختلفة للمواد. أقطار الخيوط تختلف حسب الطباعة المستخدمة، حيث أن الأقطار الأكثر شيوعا للخيوط المستخدمة هي 1.75 ملم و 3.00 ملم. تم تصميم كل نموذج للطابعات للعمل مع قطر واحد فقط لذا يجب الإطلاع على الوثائق الخاصة بالطباعة الخاصة بك.



الشكل 38: أنواع مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد.

خيوط الطباعة كانت تقتصر على ABS و PLA ، ولكن الآن هناك مجموعة من المواد المختلفة . فسنقوم بالتعرف على انواع الخيوط وخصائصها، وسيتم سرد نطاقات درجة الحرارة الأساسية، ولكن نضع في اعتبارنا ان درجات الحرارة الموصى بها تختلف حسب الفوهة والمنصة للطابعة المستخدمة. ومن المهم ان نعرف أنه ليس كل الطابعات يمكن أن تقبل كل المواد -البعض سوف تعمل مع نوع واحد فقط. فسنقوم بالتعرف على انواع الخيوط وخصائصها.

1.8 : PLA

(PLA حمض اللبنيك) واحدة من الأكثر شيوعا لخيوط الطباعة ثلاثية الأبعاد. وهي واحدة من المواد الموصى بها لكثير من الطابعات، لسبب وجيه PLA -هو مفيد في مجموعة واسعة من تطبيقات الطباعة، كونها على حد سواء عديمة الرائحة و منخفضة الاعوجاج، ولا تتطلب منصة ساخنة. خيوط PLA هي أيضا واحدة من أكثر مواد المتاحة للطباعة ثلاثية الأبعاد صديقة للبيئة، فهي مصنوعة من الموارد المتجددة سنويا (نشا الذرة) وتتطلب طاقة أقل للمعالجة بالمقارنة مع البلاستيك التقليدي (القائم على البترول).

PLA هو متاح في العديد من الألوان ويمكن أن يكون شفاف او غير شفاف.

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

درجة حرارة الفوهة	185-235 درجة مئوية
درجة حرارة منصة البناء	60°C
سطح الطباعة	الشريط الاصق الأزرق، شريط Kapton ، زجاج ساخن، قطع الفينيل

خصائص خيط: PLA

5. قوية، سهلة الاستعمال، تتميز بالمتانة.
 6. مثالية للمنتجات الاستهلاكية، الألعاب الصغيرة.
 7. مرونة محدودة جدا، وهش قليلا.
 8. غير قابلة للذوبان.
 9. أقل قوى من ABS.
 10. لا يتطلب منصة ساخنة.
7. **ABS :**

ABS هو ثاني المواد الأكثر شعبية من خيوط الطباعة ثلاثية الأبعاد. وهو من اللدائن الحرارية الرخيصة، والدائمة، ومرنة قليلا، وخفيفة الوزن، حيث يتم بثقها بسهولة. مما يجعلها مثالية في الطباعة ثلاثية الأبعاد. يستخدم نفس هذا البلاستيك في مكعبات اليغو وخوذات الدراجات، والآلات والمعدات الرياضية وأكثر من ذلك. وتأتي بمختلف الألوان.

هناك العديد من العيوم لاستخدام خيوط ABS ، أولا، يتطلب درجة حرارة أعلى للوصول إلى نقطة الانصهار. وعلاوة على ذلك، فهو يتطلب منصة بناء ساخنة. وهذا يمنع الطبقة الأولى من الطباعة من التبريد بسرعة كبيرة جدا، وبالتالي فإن البلاستيك لا يتشوه ولا يتقلص قبل إكمال الجسم.

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

عيب آخر لهذه الخيوط هو الأبخرة المكثفة التي تنتشأ أثناء الطباعة. يمكن أن تكون خطيرة على الناس الذين يعانون صعوبات في التنفس. الطباعة ثلاثية الأبعاد يجب أن توضع في منطقة جيدة التهوية. ومن المهم جداً تجنب التنفس واستنشاق الأبخرة عند الاستخدام.

درجة حرارة الفوهة	215-250 درجة مئوية
درجة حرارة منصة البناء	90-115 درجة مئوية
سطح الطباعة	الشريط الاصق Kapton

➤ خصائص الخيط: ABS

- ما يميز هذا النوع هي المتانة العالية، قوة جيدة ومقاومة الصدمات.
- مثالية للأجزاء المتحركة، القطع الآلية وألعاب الأطفال.
- قابلة للذوبان بالأسيتون.
- لا يعتبر آمناً للاستخدام مع المواد الغذائية.
- سهلة المعالجة بعد الطباعة.

3.8 : Nylon

هو البوليمر الاصطناعية الشائعة المستخدمة في العديد من التطبيقات الصناعية. مع خيوط البلاستيك تكون التكلفة أقل، قوي، ومرن، ومقاوم للصدمات. فهي أقل هشاشة من ABS، PLA ، ولكن أقوى و أكثر دواما من الاثنين.

خيوط الطباعة ثلاثية الأبعاد هذه يمكن استخدامها في مجموعة متنوعة من التطبيقات. وهي تشمل الحاويات، والأدوات، والمنتجات الاستهلاكية، والألعاب.

درجة حرارة	235-260 درجة مئوية
------------	--------------------

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

الفوهة	
درجة حرارة منصة البناء	50-100 درجة مئوية
سطح الطباعة	ورق النايلون ، Garolite

➤ خصائص الخيط: Nylon

- المزايا الأساسية هي القوة العالية والمتانة والمرونة.
- مثالية للأجزاء الميكانيكية، الأجزاء الهيكلية، التروس والمحامل، الأحمال الديناميكية.
- يمكن إعادة تدويرها.

5.8 : HIPS

تستخدم HIPS عادة في صناعة المواد الخاصة بالتغليف الغذائي HIPS. هي خيوط طباعة ثلاثية الأبعاد قابلة للتحلل ولها لون أبيض مشرق، وليس هناك أي آثار ضارة عند التعامل معها.

فهي شائعة جدا للاستخدام كمواد ثانوية في الطابعات مزدوجة البثق. فهي توفر الدعم الهيكلي للمجسمات المعقدة الذي يتم طباعته باستخدام ABS كمادة أساسية. وبمجرد اكتمال مهمة الطباعة، يمكن إذابة الخيوط باستخدام هيدروكربون سائل عديم اللون.

درجة حرارة الفوهة	220-235 درجة مئوية
درجة حرارة منصة البناء	115°C

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

سطح الطباعة

الشريط الاصق

Kapton

➤ خصائص الخيط: HIPS

➤ متانة عالية.

➤ مرونة منخفضة.

➤ قابلة للذوبان بمختلف المذيبات.

➤ لا يعتبر آمنة للاستخدام مع المواد الغذائية.

9. سير العمل لإنشاء النماذج



الشكل 39: مراحل الطباعة ثلاثية الأبعاد.

1.9. رسم التصميم:

قد تبدو عملية التصميم صعبة. على الرغم من أن الفروق الدقيقة في عملية التصميم يمكن أن تختلف من مصمم إلى مصمم، ولكن المبادئ الأساسية لا تزال هي نفسها. ومن الواضح أن التصميم يجب أن يبدأ بفكرة. بعد تحديد الأفكار، تأتي مرحلة الرسم حيث انها امتداد لعملية التفكير. الرسم هو عملية اختبار للأفكار بسرعة دون الالتزام بالوقت الا لازم لإنشاء النموذج ثلاثي الأبعاد.

2.9. النمذجة ثلاثية الأبعاد

تصميم ثلاثي الأبعاد: عندما يكون لديك مجموعة جيدة من الرسومات على الورق، سيكون لديك فكرة أفضل عن ما تريد إنشائه. الرسم سيساعدك على اتخاذ القرارات المتعلقة بالشكل الهندسي، والحجم، والمواد التي ستكون ضرورية في خلق نموذج ثلاثي ابعاد ناجح . في مرحلة النمذجة ثلاثية الأبعاد يمكنك صقل تصميم التفكير. حيث ان العمل في التصميم ثلاثي الأبعاد يسمح لك لفهم وثيق لكل تفاصيل المجسم والسيطرة على جميع جوانبه . في هذه المرحلة، ستكون قد أنهيت من تصميم المجسم المراد طباعته.

نماذج التصدير: كل برنامج لتصميم ثلاثي الأبعاد لديها تنسيق للملفات الخاصة بها. ومن اجل الطباعة ثلاثية الأبعاد يجب أن يتم تصدير النموذج الصلب كتصميم ذو شبكة مضلعة STL . هو الشكل الأكثر شيوعا لتصدير الهندسي للطباعة ثلاثية الأبعاد . حيث يحاول هذا التنسيق تقريب المجسم وتبسيطه عن طريق تقسيم اسطح التصميم لمساحات من المثلثات لينتج مجسم تام المعالم.

3.9. إعداد وتقطيع المجسمات:

التخطيط/الإصلاح/الدعم : بمجرد تصدير الملفات STL للطباعة، يجب أن تكون مستعدة للطباعة. ويجب أن تكون الشبكة محكمة أي أن سطحها لا يمكن أن يكون فيه ثقب. يمكن أن تحدث أخطاء هندسية أخرى من شأنها أن تؤدي إلى طباعة فاشلة، لذلك يجب استخدام برنامج آخر (مثل Meshmixer or Print Studio ، والتي من شأنها التفحص

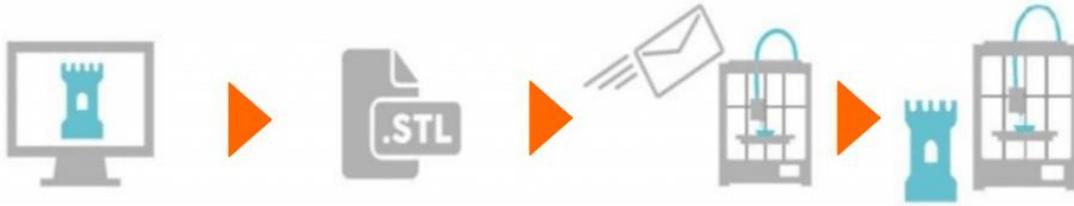
الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

الأخطاء وتصحيحها. في برنامج الإعداد، يمكنك أيضا إضافة نماذج إضافية، و التحكم بتوجيه النموذج والحجم ووضع النماذج في مكان للطباعة ثلاثية الأبعاد. ويمكن أيضا أن تستخدم برمجيات التحضير لإنشاء هياكل دعم للطباعة ثلاثية الأبعاد.

تقطيع الجسم: بمجرد وضع النموذج ويكون جاهز للطباعة، يجب أن يتم تقطيعه للطباعة ثلاثية الأبعاد الخاصة. تتم هذه العملية عن طريق استخدامها بعض البرامج المسؤولة عن عملية تقطيع المجسمات وإذا كانت قوية بما فيه الكفاية يمكنك تجنب برامج الإعداد. كما ان برنامج التقطيع تقوم بإنشاء ملفات ذو ملكية G-CODE للطباعة ثلاثية الأبعاد لتشغيل المهمة.

10. الطباعة ثلاثية الأبعاد:

مع ملف G-Code تكون على استعداد لتشغيل مهمة لإنشاء المجسمات ثلاثية الأبعاد. وهذا ليس عملية ذو خطوة واحدة. يجب أن تكون الآلة معدة مسبقا، فيجب التأكد من إعداد منصة البناء ويجب معايرة درجة الحرارة ومعدل التغذية وسرعة الطارد معا بعناية لتحقيق النتيجة المرجوة.

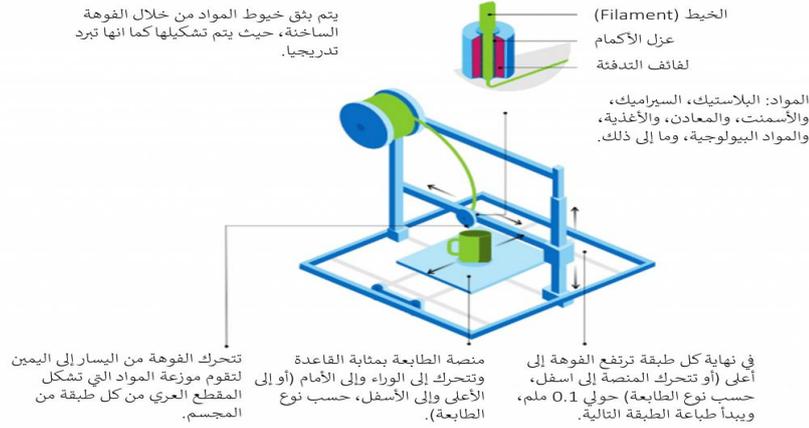


الشكل 40: مراحل الطباعة ثلاثية الأبعاد.

11. آلية العمل:

تقوم الطابعات ثلاثية الأبعاد بإنشاء المجسم ثلاثي الأبعاد من خلال بناء طبقات متتالية حتى يتم تحقيق النموذج المطلوب.

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد



الشكل 41: مراحل الطباعة ثلاثية الأبعاد.

12. استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد:

ما يجعل الطباعة ثلاثية الأبعاد فريدة من نوعها هو قدرتها على تصنيع كائنات صلبة كاملة ومعقدة. حيث تستطيع طباعة (صناعة) المجسمات والأدوات بطرق لا محدودة، وبمختلف المواد والمعادن. دخلت الطباعة ثلاثية الأبعاد العديد من المجالات منها الفنية، والتراثية والاثريّة، والألعاب وسيارات ومبانٍ وفي المجال الطبي تمكنت الطباعة ثلاثية الأبعاد من توفير أطراف صناعية مطبوعة لهؤلاء الذين فقدوا أيديهم أو أرجلهم في حوادث، لتصبح الأطراف الصناعية تطبيقاً مثالياً للطباعة ثلاثية الأبعاد.



الشكل 42: بعض استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد.

الفصل الثاني: الطباعة ثلاثية الأبعاد

وقد أثرت هذه التكنولوجيا على التاريخ الإنساني الحديث ربما أكثر من أي مجال آخر. حيث جعلت حياتنا أفضل من نواحي كثيرة، وفتحت آفاقا وإمكانيات جديدة. بالنسبة لمعظم الصناعات، هي اختصار قوي لعمل كائنات دقيقة ومعقدة لأغراض مختلفة لا نهاية لها.

هناك أنواع مختلفة من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، والتي تعالج مواد مختلفة بطرق مختلفة لصنع الجسم النهائي. فاللدائن، والمعادن، والسيراميك، والرمال، تستخدم الآن بشكل روتيني للتطبيقات الصناعية الأولية وإنتاجها. البلاستيك هو حاليا من المواد المستخدمة على نطاق واسع، ولكن هناك عدد متزايد من البدائل، بما في ذلك النايلون. وهناك عدد متزايد من الآلات التي تم تكييفها للمواد الغذائية، مثل السكر والشوكولاته.

الفصل الثالث

1. إنشاء النفق الهوائي :

تم انشاء عناصر النفق الهوائي اعتمادا على طابعة ثلاثية الأبعاد من نوع Ender Creality 3D-max

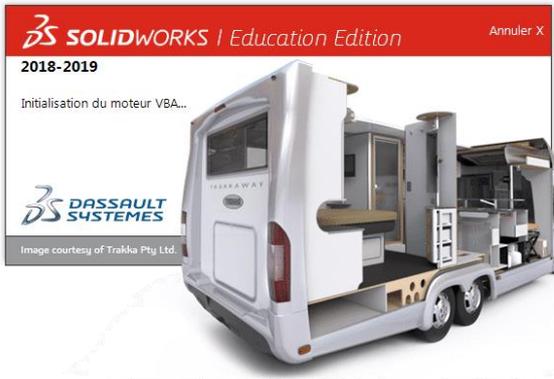


الشكل 01 : طابعة ثلاثية الأبعاد من نوع Ender Creality 3D-max

حيث مرت عملية انشاء النفق الهوائي على ثلاث مراحل وهي :
عملية التصميم ،التقطيع ثم الإنشاء .

1.1 التصميم: Design

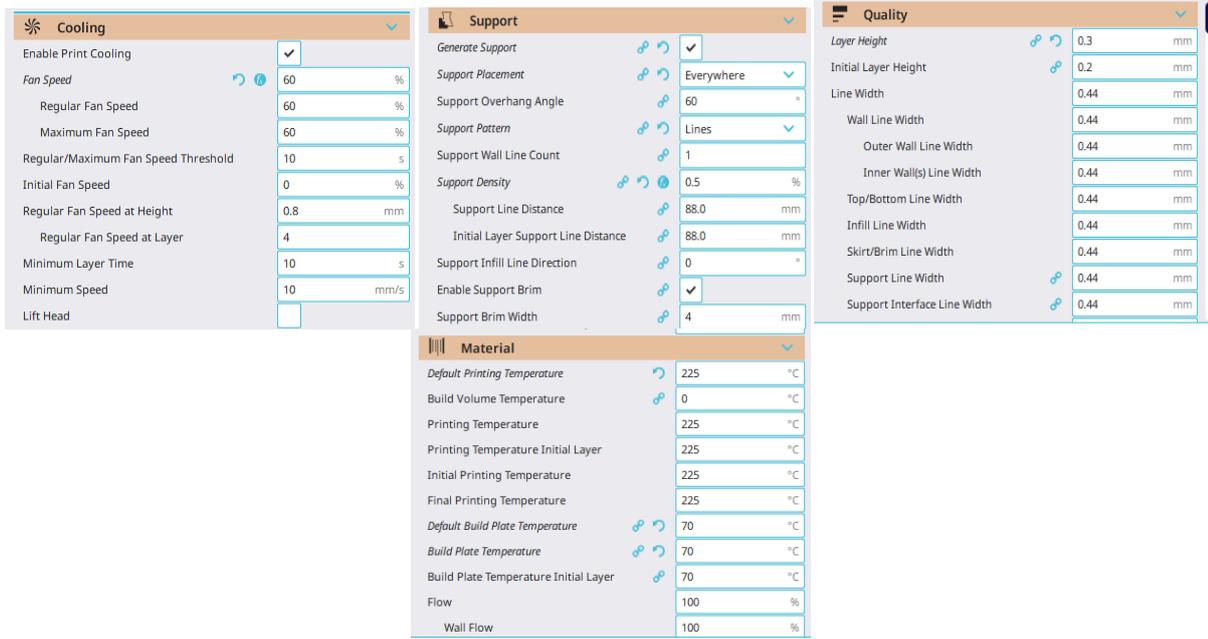
تم تصميم عناصر النفق الهوائي بإستخدام برنامج الصوليدووركس، وحفظه على شكل ملف .STL



الشكل 02 : واجهة برنامج الصوليدووركس.

2.1. التقطيع: Slice

بعد عملية التصميم على مستوى برنامج الصوليدوركس يتم تصديره الى برنامج السليسر أو الكيورا ليتم تقطيعه وضبط بعض معطيات الطباعة مثل: سرعة الفوهة وحرارتها ، سرعة المنصة وحرارتها والحامل الذي يتم الطباعة عليه، وحفظه على شكل ملف .STL



الشكل 03 : ضبط المعطيات على مستوى برنامج السليسر .

3.1. الإنشاء Create:

يتم في هذه المرحلة وضع ملف G code في بطاقة ذاكرة ووصلها بالطابعة ثلاثية الأبعاد، وبعدها يتم تجهيز الطابعة لكي تبدأ عملية الطباعة وذلك بضبط حرارة الفوهة، حرارة المنصة، سرعة المروحة، وهكذا تمت طباعة كل عنصر على حدى.



الشكل 04: الطباعة بطابعة ثلاثية الأبعاد من نوع Ender Creality 3D-max

1.3.1 إنشاء عناصر النفق الهوائي :

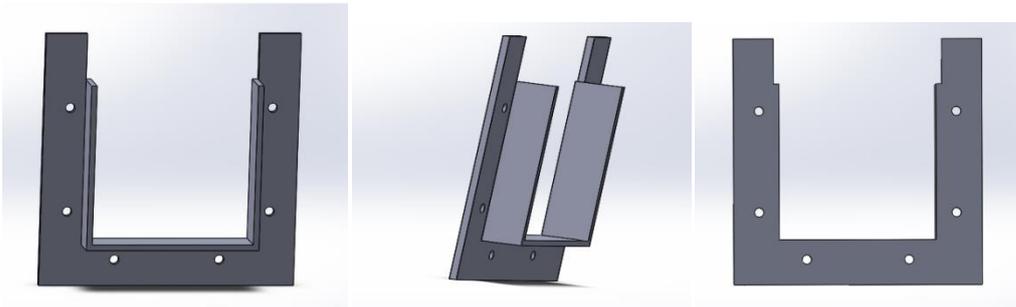
2.3.1 إنشاء غرفة الإختبار: test section create

تم إنشاء غرفة الإختبار بالزجاج الذي يرتكز على حاملان في مدخل الغرفة ومخرجها، حيث تم طباعة هذين الاخيرين بالطابعة ثلاثية الأبعاد.

➤ أبعاد غرفة الإختبار :

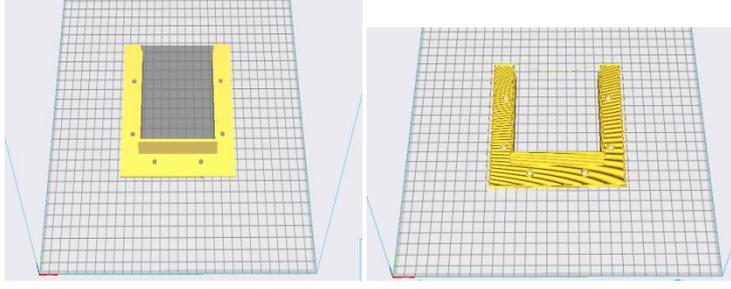
طول ضلع المقطع العرضي لغرفة الإختبار $l_{ts} = 80 \text{ mm}$

طول غرفة الإختبار $L = 160 \text{ mm}$

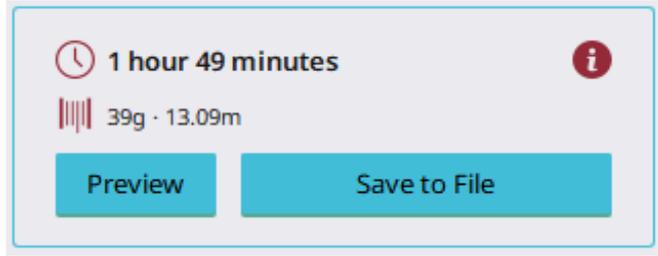


الشكل 05: تصميم حامل غرفة الاختبار في برنامج الصوليدوركس .

الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



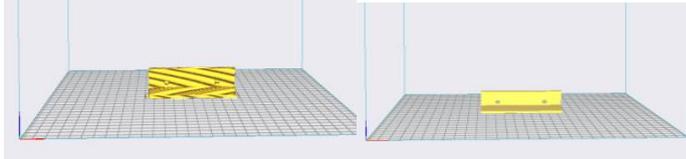
الشكل 06: حامل غرفة الاختبار في برنامج السليس قبل وبعد التقطيع



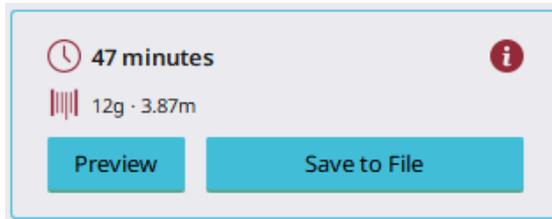
الشكل 07: وقت طباعة غرفة الاختبار وكمية استهلاكها لمادة الطباعة



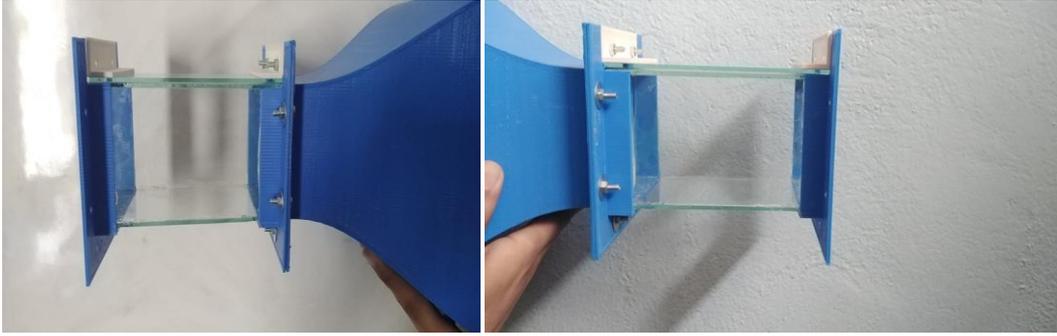
الشكل 08: تصميم باب غرفة الاختبار في برنامج الصوليدوركس .



الشكل 09: باب غرفة الاختبار في برنامج السليس قبل وبعد التقطيع.



الشكل 10: وقت طباعة باب غرفة الاختبار وكمية استهلاكه لمادة الطباعة .



الشكل 11 : غرفة الاختبار بعد طباعتها .

1.3.1. إنشاء المتقارب: Nozzles create

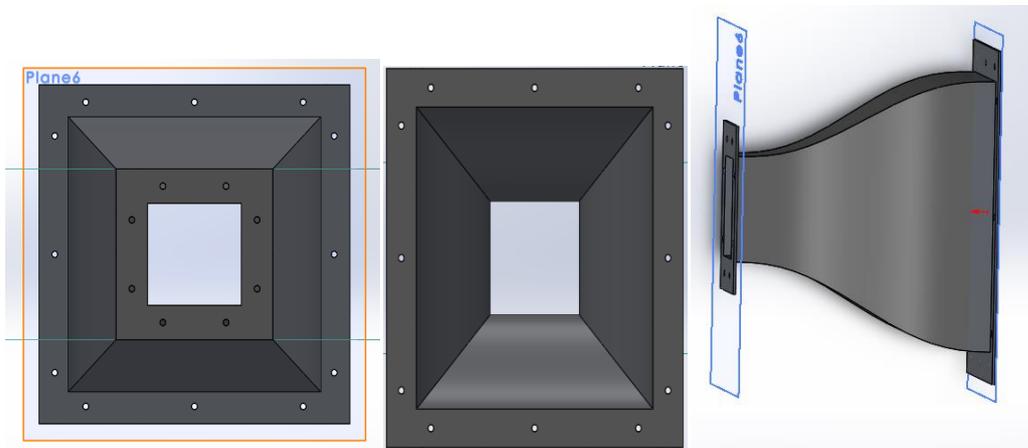
مرت عملية تصميم المتقارب بإنشاء كود على مستوى برنامج الفورتران، الذي استخرجنا منه احداثيات لأربعة منحنيات لكثير حدود من الدرجة الخامسة متناظرة فيما بينها للباحثين بيل و ميهتا ، ليتم بعدها تصدير هذه البيانات لبرنامج القامبيت وربطها مع بعضها لتشكل متقارب ثلاثي الأبعاد ومن ثم حفظها على شكل ملف igs، ليتم بعدها تصديرها الى برنامج الصوليدووركس .

أبعاد المتقارب :

طول ضلع المقطع العرضي للمدخل $l_{cv\ in} = 211.7\ mm$

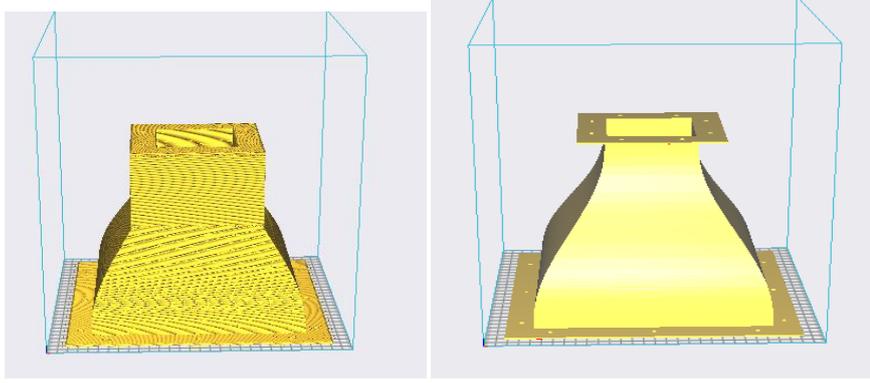
طول ضلع المقطع العرضي للمخرج $l_{cv\ out} = 80\ mm$

طول المتقارب $L = 211.7\ mm$

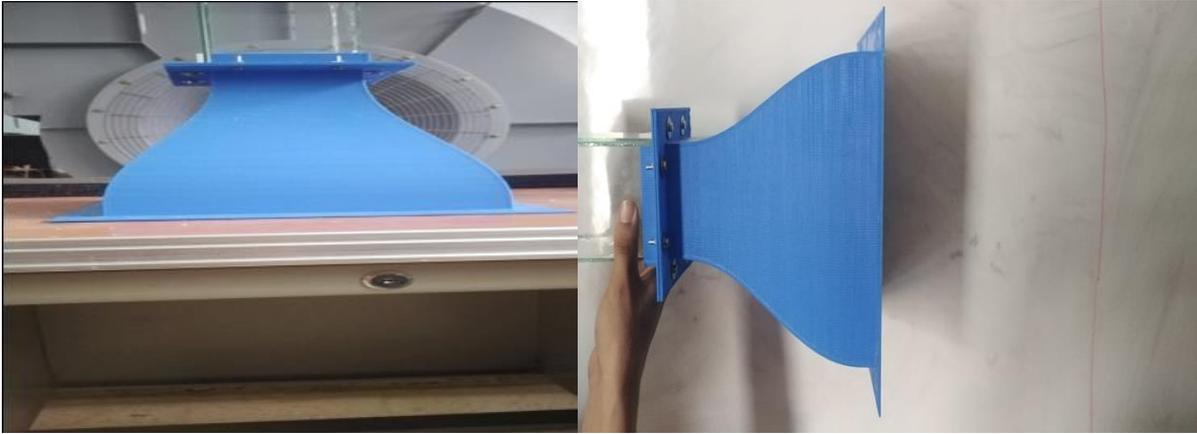


الشكل 12 : المتقارب في برنامج الصوليدووركس .

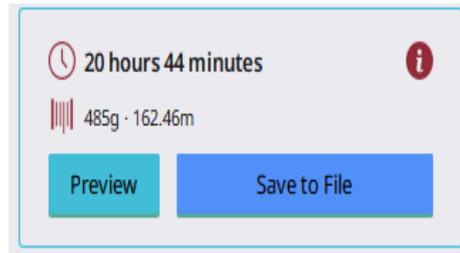
الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



الشكل 13: المتقارب في برنامج السليس بعد و قبل التقطيع .



الشكل 14: المتقارب بعد طباعته.



الشكل 15: وقت طباعة المتقارب وكمية استهلاكه مادة الطباعة.

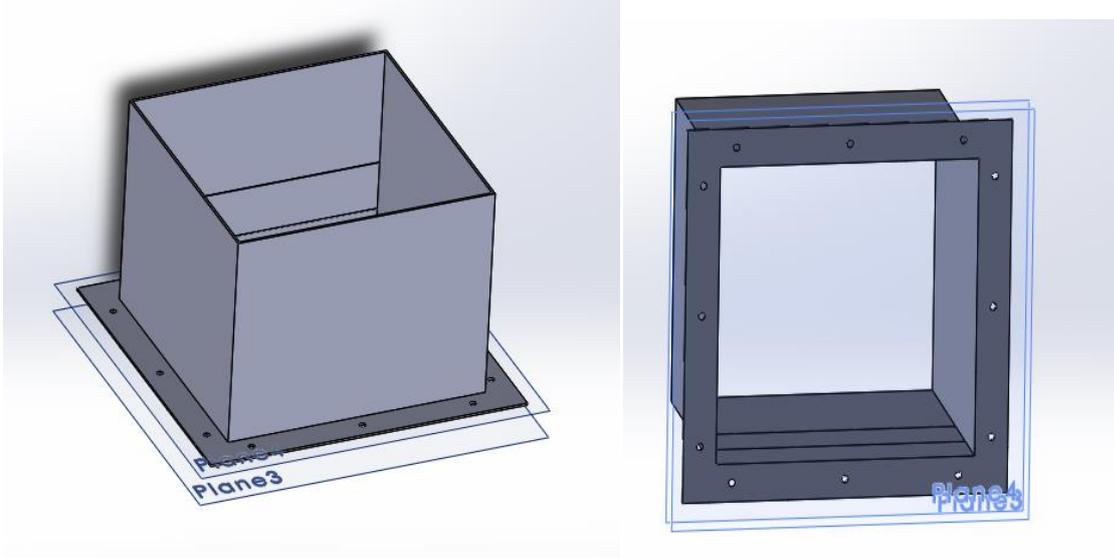
4.4.1 إنشاء غرفة التهدئة: Settling chamber create

1.4.3.1 الأبعاد :

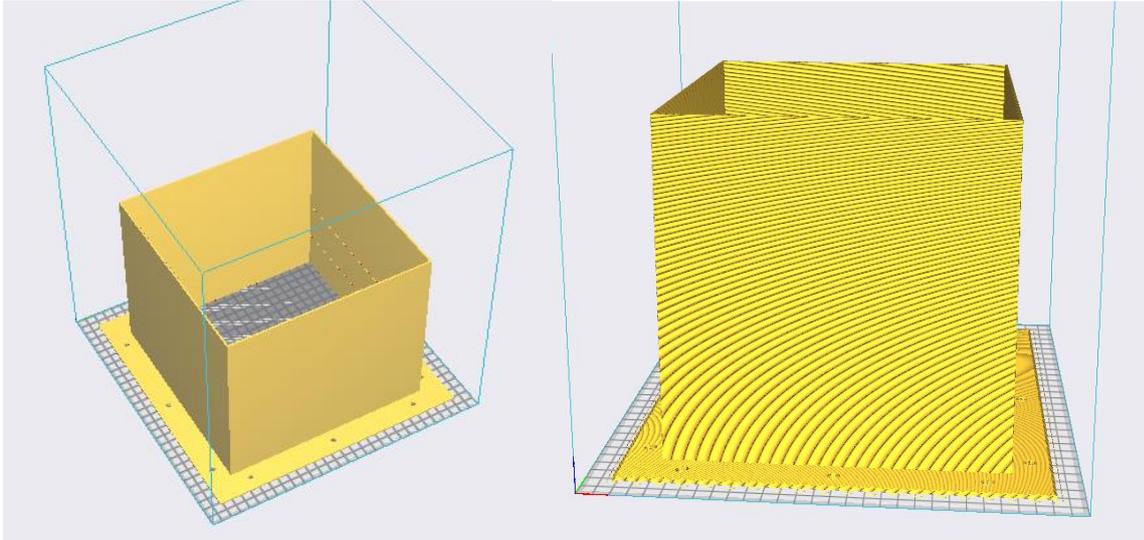
طول ضلع المدخل $l_{sc in} = 211.7 \text{ mm}$

طول ضلع المخرج $l_{sc out} = 211.7 \text{ mm}$

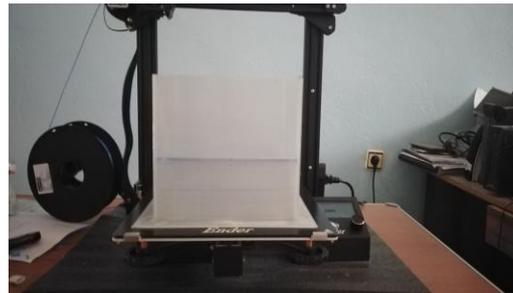
طول غرفة التهئة = $L_{sc} = 186.9 \text{ mm}$



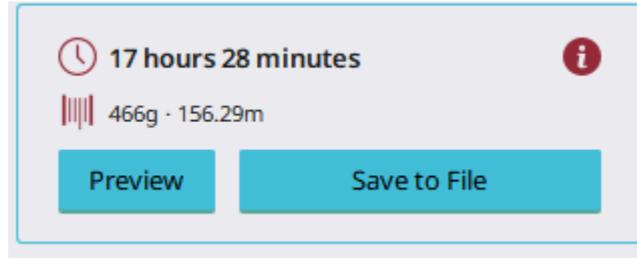
الشكل 16: غرفة التهئة في برنامج الصوليدوركس.



الشكل 17: غرفة التهئة في برنامج السليس قبل وبعد التقطيع



الشكل 18: غرفة التهئة بعد الطباعة.



الشكل 19: وقت طباعة غرفة التهئة وكمية استهلاكها لمادة الطباعة.

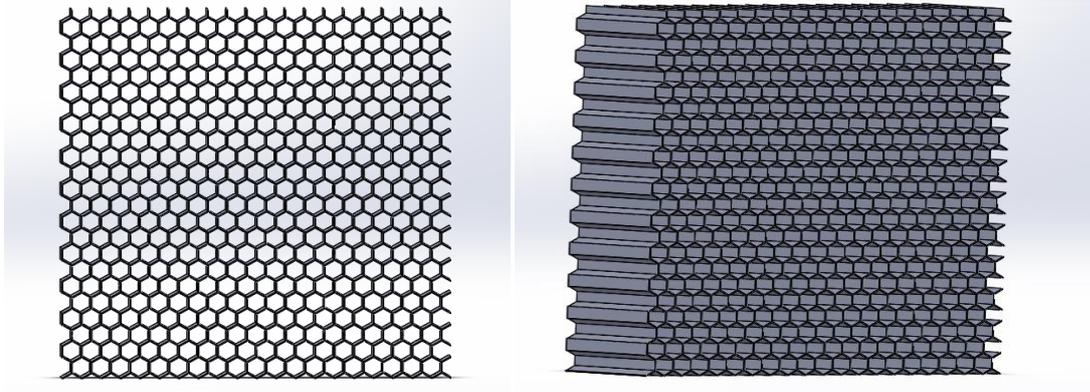
5.3.1. إنشاء بيت النحل: Honeycomb create:

أهم أبعاده :

طول بيت النحل $l_{honey} = 60 \text{ mm}$

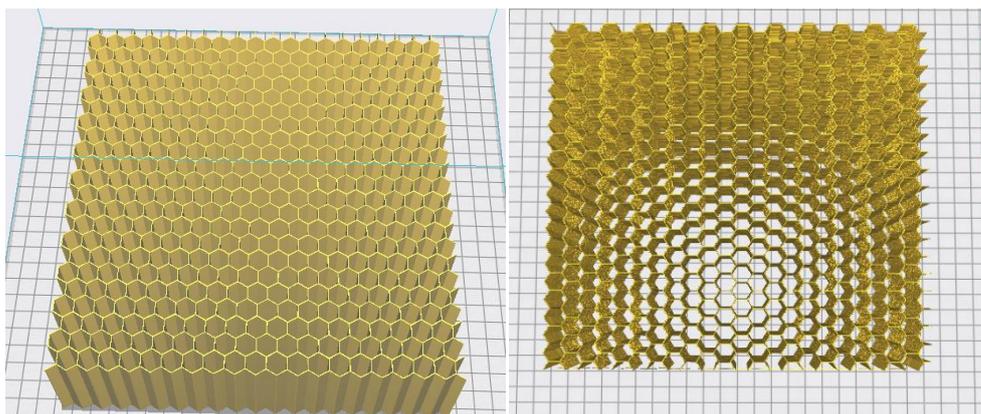
قطر الخلية $d_{cell} = 10 \text{ mm}$

سمك الخلية $s = 0.5 \text{ mm}$



الشكل 20: بيت النحل في برنامج الصوليدوركس.

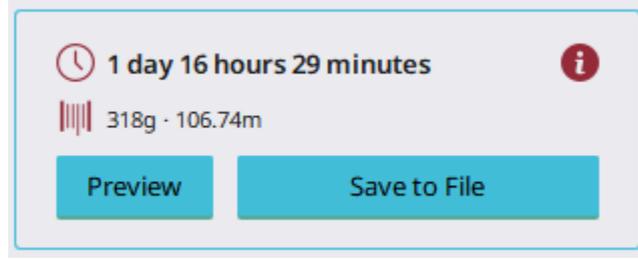
الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



الشكل 21: بيت النحل في برنامج السليسر قبل وبعد الطباعة



الشكل 22: بيت النحل بعد الطباعة



الشكل 23: وقت طباعة بيت النحل وكمية استهلاكه لمادة الطباعة.

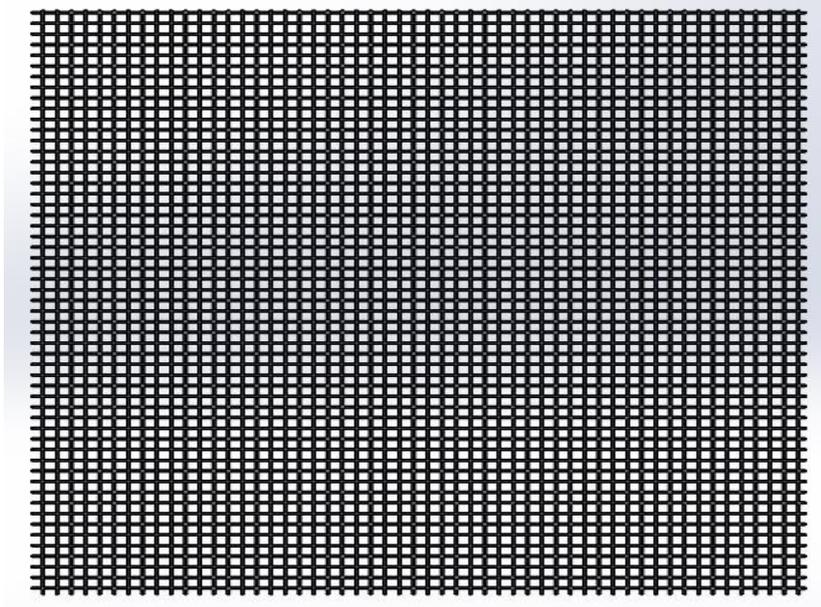
6.3.1. إنشاء الحواجز الشبكية: Screens create

الحاجز الشبكي الأول:

أبعاده:

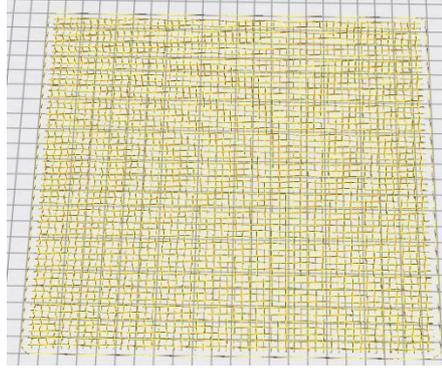
قطر السلك $d = 0.7 \text{ mm}$

طول السلك $L = 0.7 \text{ mm}$

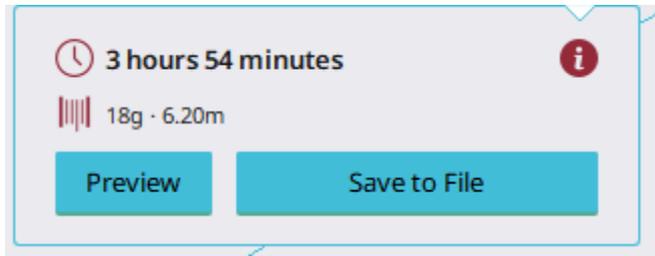


الشكل 24: الحاجز الشبكي الأول في برنامج الصوليدوركس.

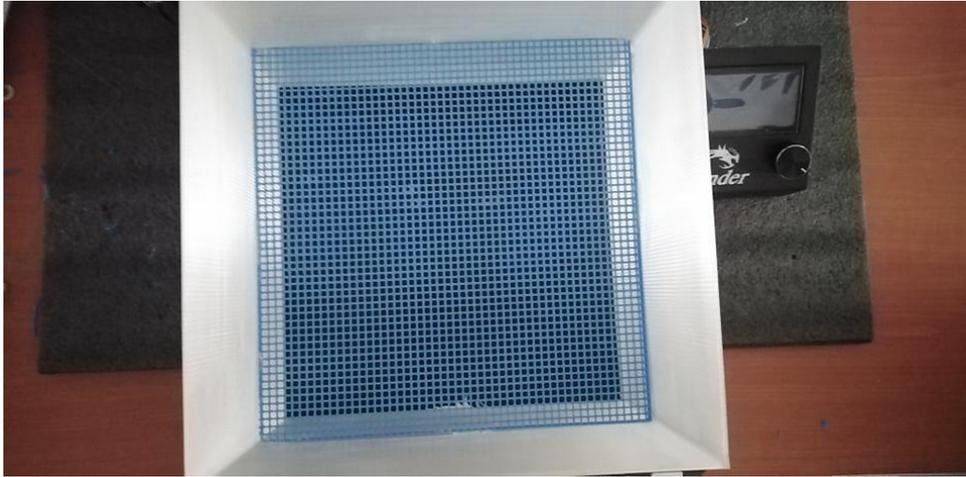
الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



الشكل 25: الحاجز الأول في برنامج السليسر.



الشكل 26: وقت طباعته وكمية استهلاكه لمادة الطباعة .



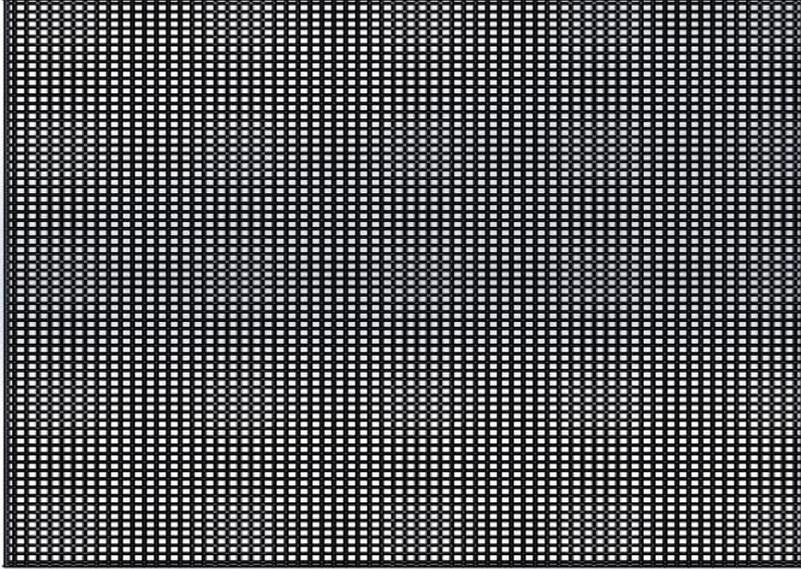
الشكل 27: الحاجز الشبكي الأول بعد الطباعة .

الحاجز الشبكي الثاني:

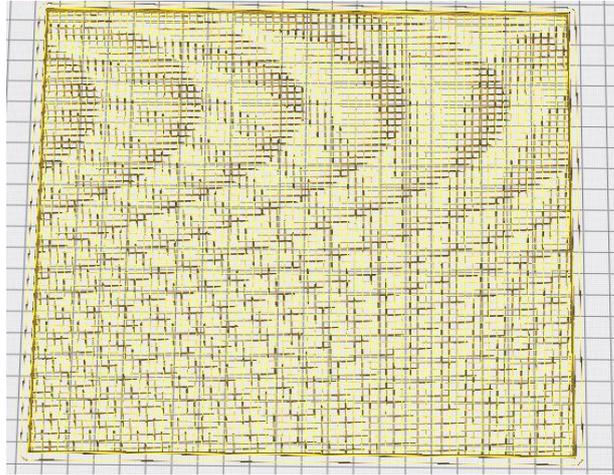
أبعاده:

قطر السلك $d = 0.6\text{mm}$

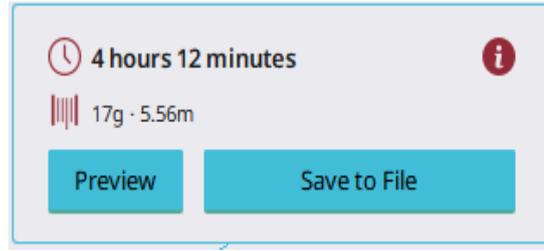
طول السلك $L = 0.6 \text{ mm}$



الشكل 28: الحاجز الشبكي الثاني في برنامج الصوليدوركس.



الشكل 29: الحاجز الشبكي الثاني في برنامج السليسر .



الشكل 30: وقت طباعته وكمية استهلاكه لمادة الطباعة.



الشكل 31: الحاجز الشبكي الثاني بعد الطباعة

7.3.1 إنشاء الناشر: Diffuseur create

تم إنشاء الناشر على قسمين وذلك لكبر طوله مقارنة بأبعاد الطباعة المستعملة.

أبعاده:

$$l_{df\ in}=80\ \text{mm}$$

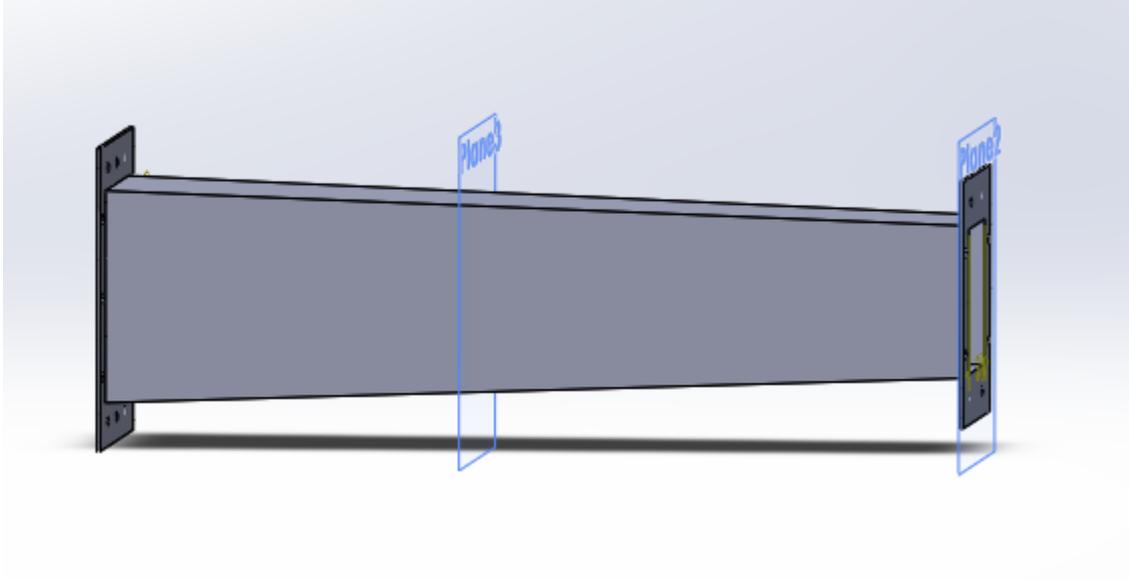
طول ضلع المقطع العرضي للمدخل

$$l_{df\ out}=113.1\ \text{mm}$$

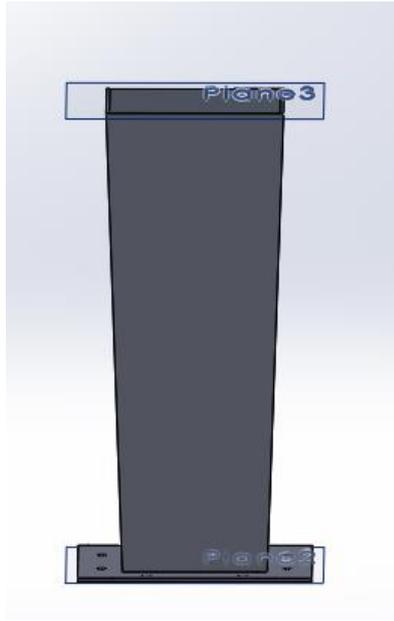
طول ضلع المقطع العرضي للمخرج

$$L=474.5\ \text{mm}$$

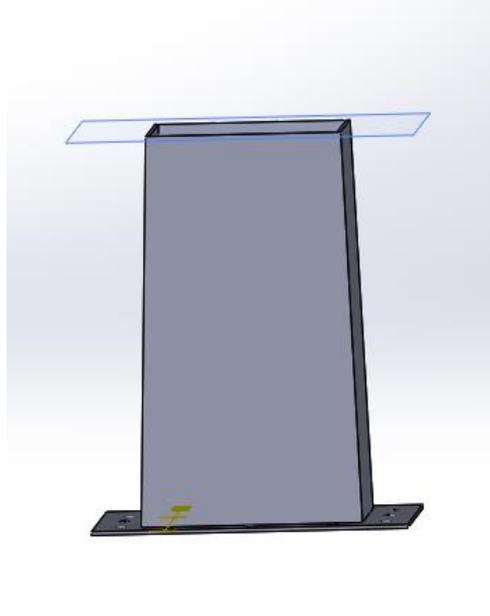
طول الناشر



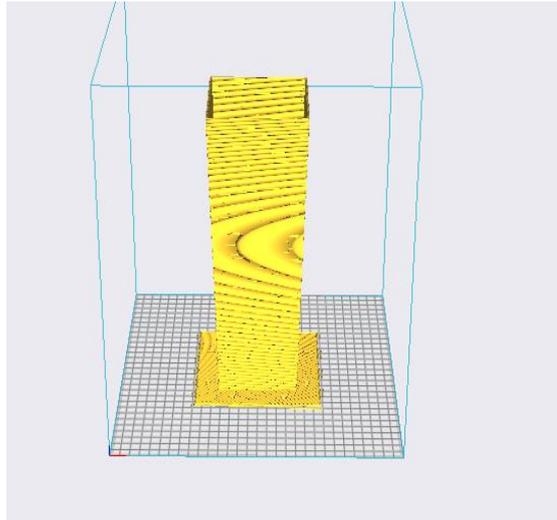
الشكل 32: الناشر في برنامج الصوتليدووركس .



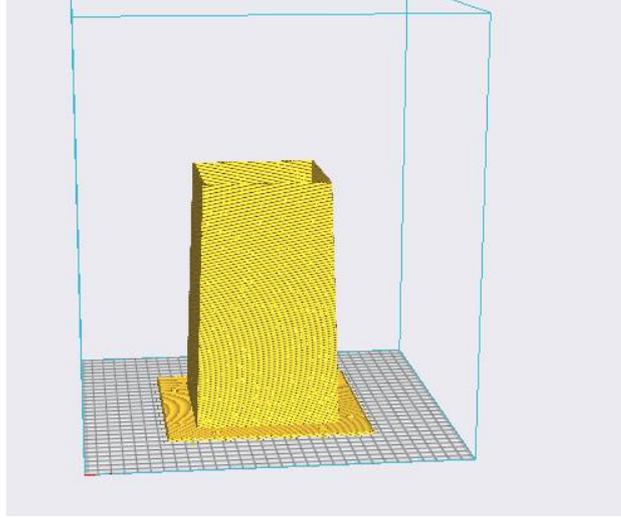
الشكل 33: الجزء الأول من الناشر في برنامج الصوتليدووركس



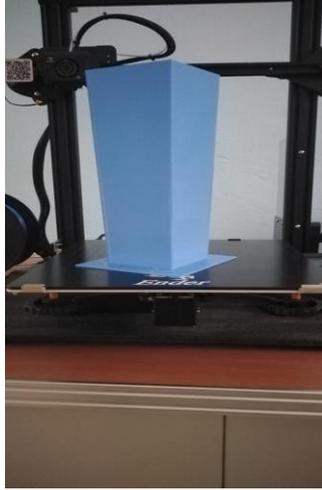
الشكل 34 : الجزء الثاني من الناشر في برنامج الصوليدوركس



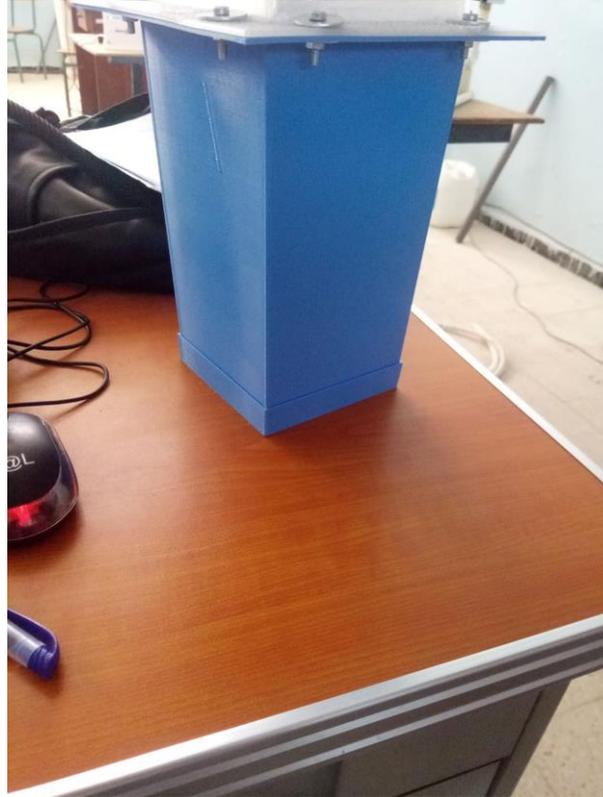
الشكل 35 : الجزء الأول من الناشر في برنامج السليسر.



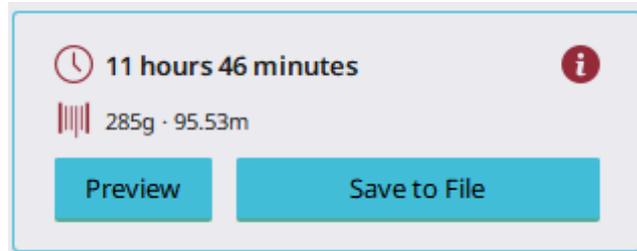
الشكل 36: الجزء الثاني من الناشر في برنامج السليسر.



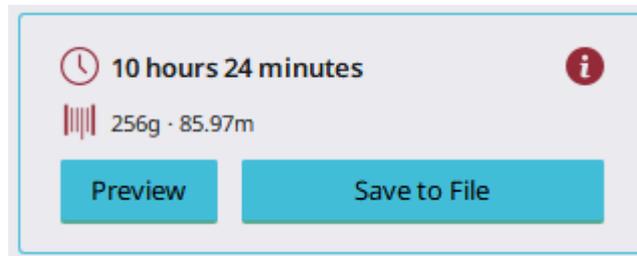
الشكل 37: الجزء الأول من الناشر بعد الطباعة.



الشكل 38: الجزء الثاني من الناشر بعد الطباعة.



الشكل 39: وقت طباعة الجزء الاول من الناشر وكمية استهلاكه لمادة الطباعة.



الشكل 40: وقت طباعة الجزء الثاني من الناشر وكمية استهلاكه لمادة الطباعة.

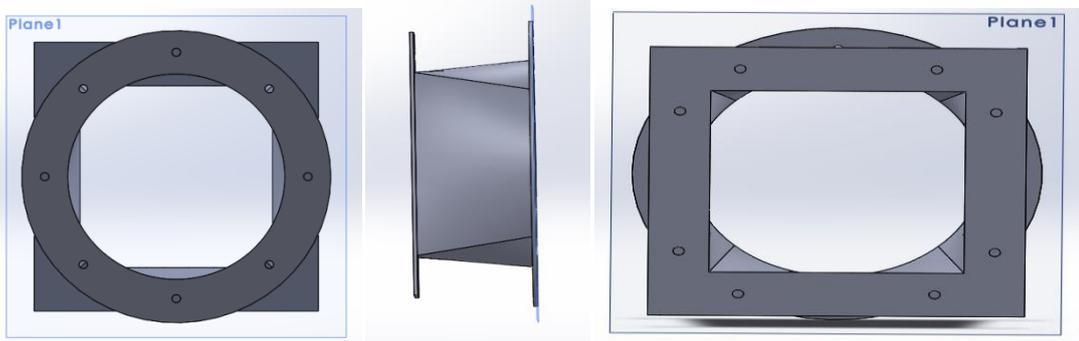
7.3.1. إنشاء الرابط Adapter create

أبعاده :

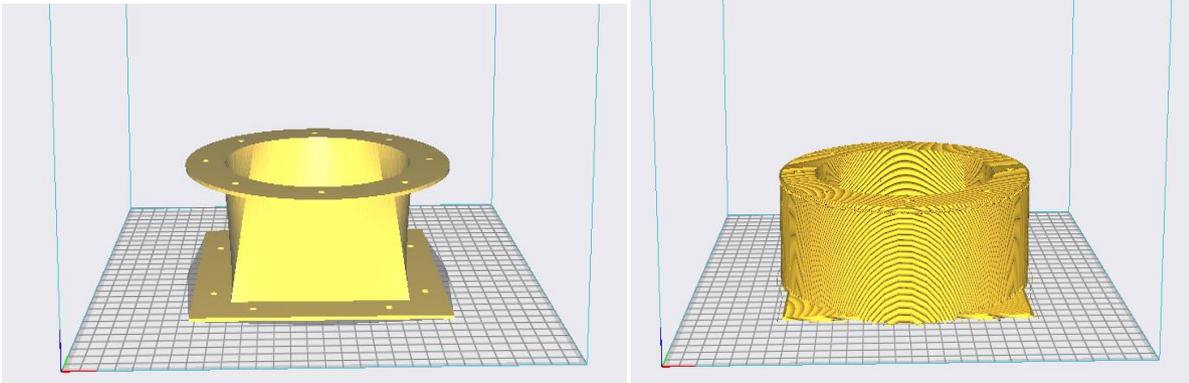
$l_{in} = 113.1 \text{ mm}$ طول ضلع المدخل

$D_{out} = 113.1 \text{ mm}$ قطر دائرة المخرج

$L = 63.8 \text{ mm}$ طول الرابط



الشكل 41: الرابط بعد تصميمه في برنامج الصوليدوركس .

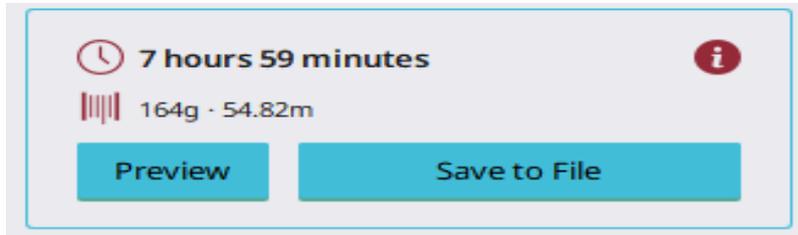


الشكل 42 : الرابط في برنامج السليسر قبل التقطيع و بعد التقطيع (وجود حامل)

الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



الشكل 43: الرابط بعد طباعته .



الشكل 44: وقت طباعة الرابط وكمية استهلاكه لمادة الطباعة .

9.3.1. إنشاء قناة المروحة: Duct fancreate :

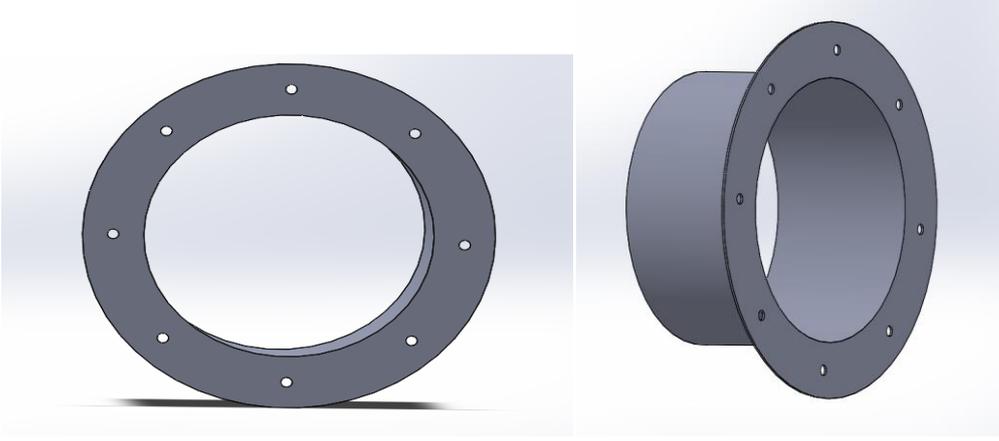
أبعادها :

D_{in} =113.1 mm قطر المدخل

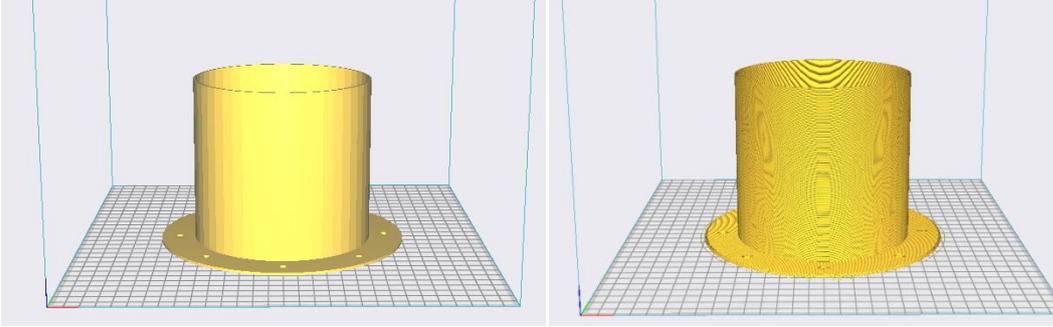
D_{out} =113.1 mm قطر المخرج

L =113.1 mm طول قناة المروحة

الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



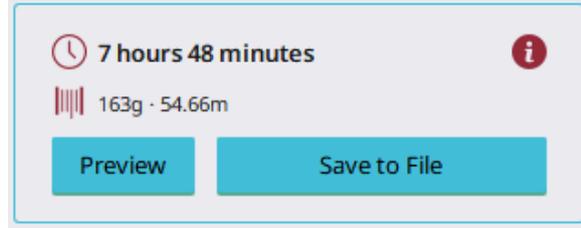
الشكل 45: قناة المروحة في برنامج الصوليدوركس.



الشكل 46: قناة المروحة في برنامج السليس قبل وبعد التقطيع.

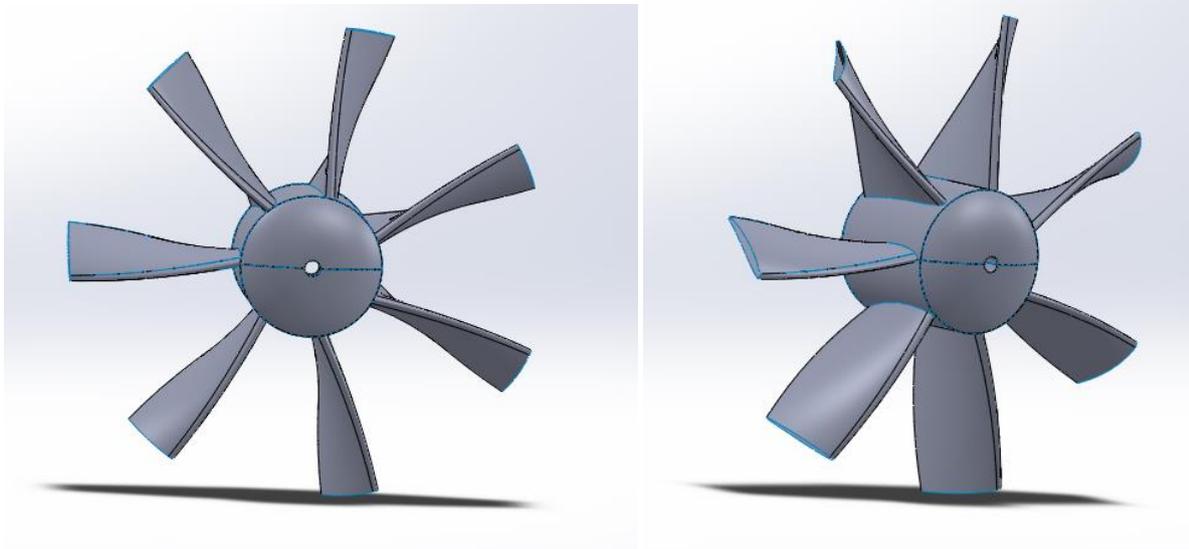


الشكل 47 : قناة المروحة بعد طباعتها

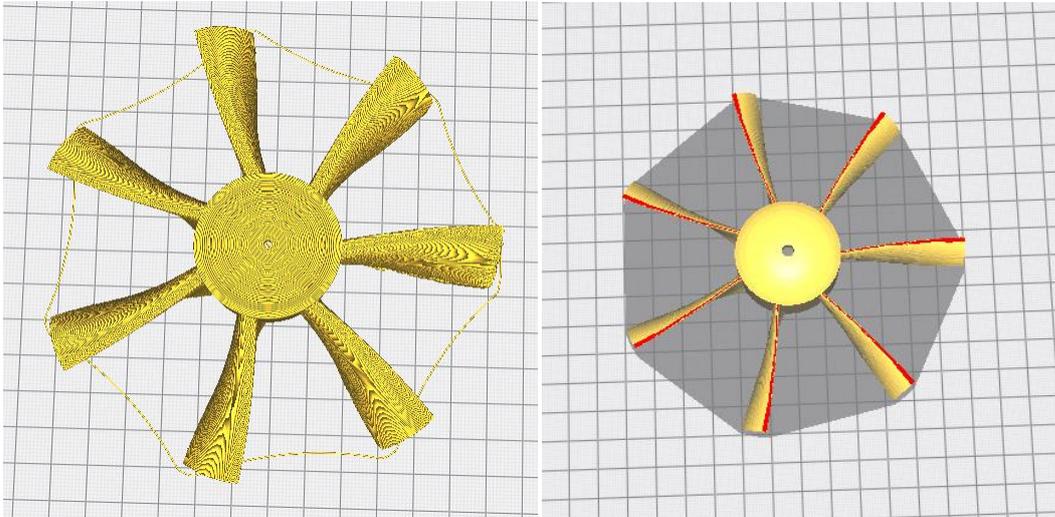


الشكل 48: وقت طباعة قناة المروحة وكمية استهلاكها لمادة الطباعة .

10.3.1. إنشاء المروحة create fan

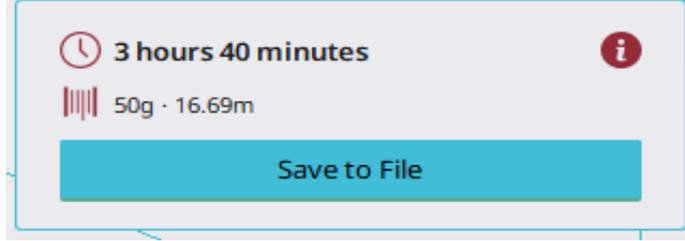


الشكل 49: المروحة في الصوليد ووركس



الشكل 50: المروحة في برنامج سليسر قبل وبعد التقطيع

الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



الشكل 51: وقت الطباعة وكمية مادة الطباعة المستهلكة



الشكل 52: حامل المروحة بعد الطباعة

الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



الشكل 53: المروحة بعد الطباعة



الفصل الثالث: إنشاء النفق الهوائي تحت الصوتي



الشكل 54: النفق الهوائي بعد تجميع عناصره

الفصل الرابع

1. مقياس السرعة الليزري-الدوبلري

لقياس حقل السرعة، خلف نموذج القياس استخدم مقياس السرعة الليزري-الدوبلري ثلاثي الأبعاد، أي يمكن بواسطة هذا المقياس تحديد المركبات الثلاث للسرعة u ، v ، w ، ويتألف هذا المقياس من: مقياس ليزري-دوبلري ثنائي البعد قطر عدسته 60 mm ، لتحديد كل من مركبتي السرعة (u ، v) في المستوي (y, x) . يصدر هذا المقياس زوجين من الأشعة الليزرية: الزوج الأول مؤلف من أشعة خضراء اللون بطول موجة $L1=5.514\text{mm}$ ، والزوج الثاني مؤلف من أشعة زرقاء اللون بطول موجة $L2=488\text{mm}$ وباستطاعة 250 mW

مقياس ليزري-دوبلري أحادي البعد قطر عدسته 60 mm لتحديد المركبة الثالثة للسرعة w في اتجاه المحور z .

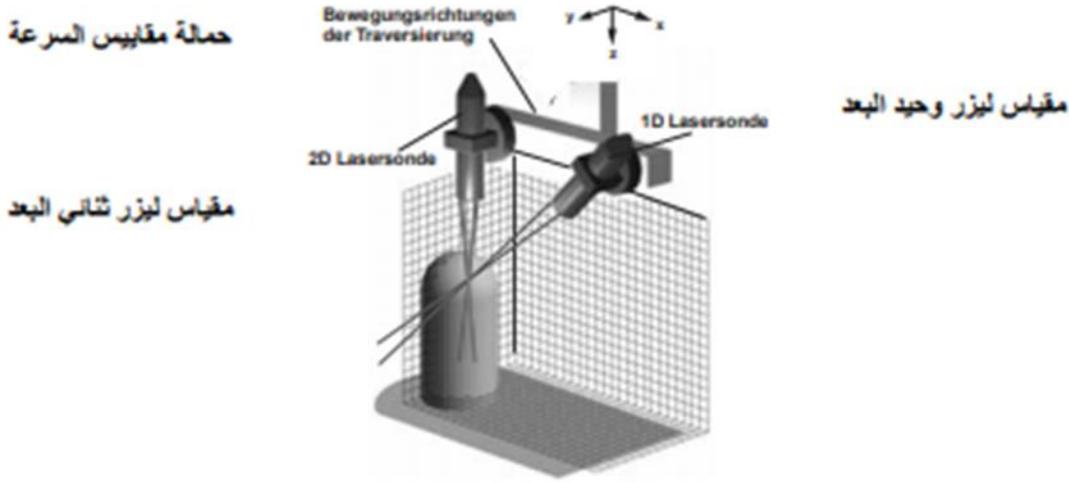
يصدر هذا المقياس زوجا من الأشعة الخضراء اللون بطول موجة $L3 = 532\text{ mm}$ واستطاعته 50 mw الشكل 1 يوضح مكونات مقياس السرعة الليزري الدوبلري وتوضعه لحقل الجريان ' والشكل 2 يوضح مبدأ قياس سرعة الجريان على النحو الآتي :

من مولد اشعة الليزرية يصدر شعاع ليزري ينقسم بعد اصطدامه بمقصد اشعة Divider الى شعاعي 1 و2 لهما السعة نفسها . بواسطة عدسة ارستل مشمعة يلتقي الشعاعان الليزريان في محرق العدسة الذي يمثل حيز القياس او حجمه volume Measurement وعندما تعتبر جزيئ سائلي حيز القياس يصدر ضوءا منتثرا بسعة متغيرة , يتم تجميعه بواسطة عدسة مشمعة ويرسل منها الى مستقبل وكاشف ضوئي اسمها Photodetector, يتولى عملية تحليل الضوء ' وتحويل الاشارة الضوئية الي اشارة كهربائية تنقل الى معالج ومحلل خاص (BSA) Analyser Signal Burst ' الذي يظهر بالنتيجة سرعة الجزيئ الذي عبر حيز القياس . وتحسب السرعة حسب العلاقة :

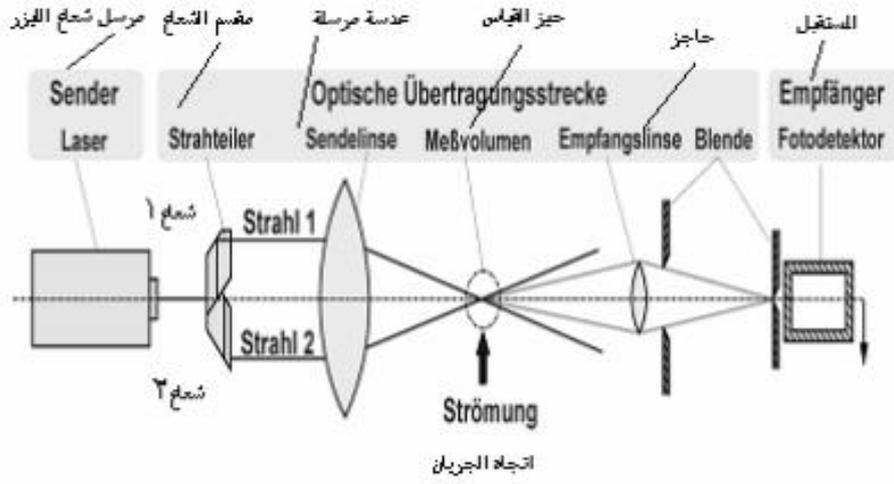
$$U_{\perp} = f_s \Delta x = \frac{1}{2 * n} * f_s * \lambda_0 * \frac{1}{\sin \varphi/2} \quad (1.4)$$

حيث n ثابت يتعلق بنوع السائل وتبلغ قيمته في حالة الهواء $n=1$ البعدين الشرائح المتداخلة في حيز القياس f_s التردد الدوبلري λ_0 طول موجة الشعاع الليزر φ زاوية بين شعاعي الليزر .

قبل البدء بعملية القياس يجب دهن نموذج القياس باللون الاسود تقاديا للانعكاسات الشديدة لاشعة الليزر المترددة من سطح النموذج .



الشكل 1: تموضع مقياس السرعة الليزري في حقل الجريان

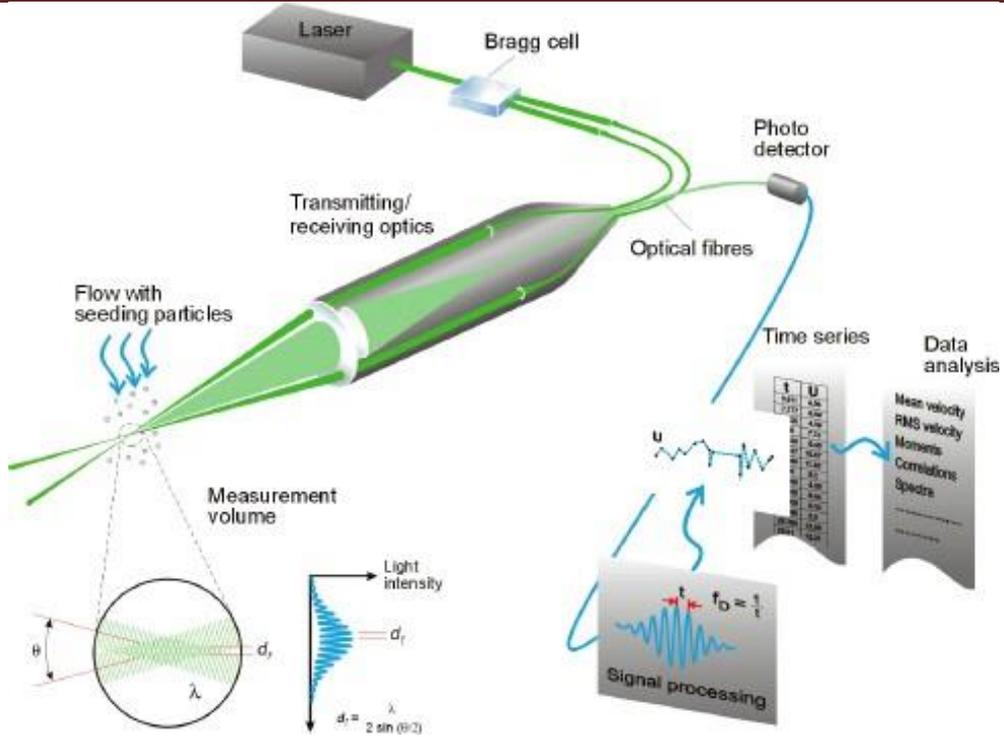


الشكل 2: مبدئ قياس السرعة باستخدام مقياس السرعة الليزري ثنائي البعد

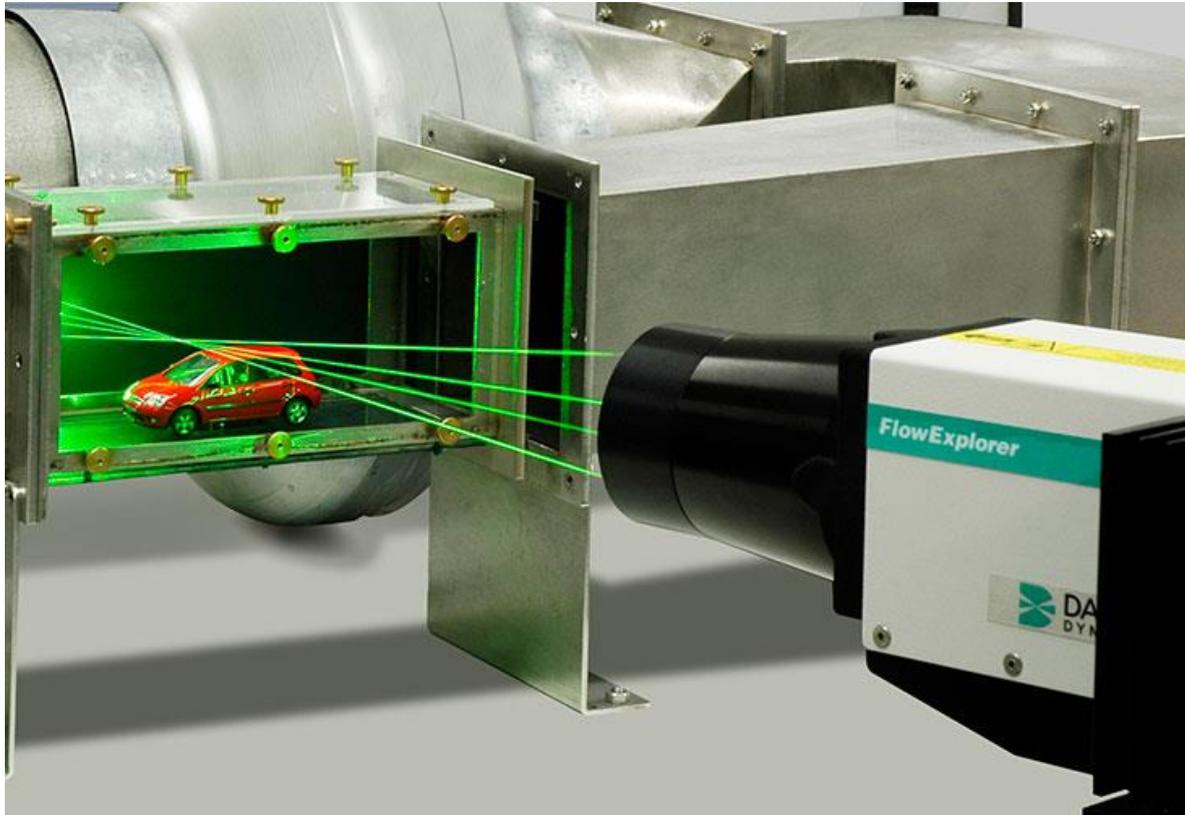
2. مبدئ عمل جهاز أنيمومتر الليزري:

في قياس سرعة دوبلر بالليزر ، تستخدم أجهزة قياس شدة الدوبلر بالليزر شعاعاً من الضوء من ليزر مقسم إلى شعاعين ، أحدهما ينتشر من مقياس شدة الريح. تتدفق الجسيمات (أو مادة البذور التي يتم إدخالها عمداً) جنباً إلى جنب مع جزيئات الهواء بالقرب من مكان خروج الشعاع ، أو تنعكس الضوء مرة أخرى إلى الكاشف ، حيث يتم قياسه بالنسبة لشعاع الليزر الأصلي. عندما تكون الجسيمات في حركة كبيرة ، فإنها تنتج انزياح دوبلر لقياس سرعة الرياح في ضوء الليزر ، والذي يستخدم لحساب سرعة الجسيمات ، وبالتالي الهواء المحيط بمقياس شدة الريح.

الفصل الرابع: جهاز الانيمومتر الليزري



الشكل 3: مبدئ عمل جهاز انيمومتر الليزري



الشكل 4: التقنية البصرية لجهاز انيمومتر الليزري



الخاتمة:

قمنا في هذه المذكرة بإنشاء و تجسيد كل عنصر من عناصر النفق الهوائي على حدى ، وذلك بعد المرور بثلاثة مراحل تمثلت في : عملية التصميم ، التقطيع و الطباعة ، حيث في البداية كان هدفنا بعد الإنشاء هو قياس سرعة الهواء في غرفة الإختبار بإستعمال جهاز أنيمومتر الليزري لتأكد من تصميم النفق وبالأخص تصميم المروحة التي تم دراستها و تحليلها و تصميمها من طرف زميلي في مذكرة أخرى ، لكن للأسف تحصلنا على الطباعة ثلاثية الأبعاد في وقت متأخر وهذا حال دون ذلك .

بعد عملية طباعة كل عنصر على حدى وربطهم ببعضهم البعض تم الحصول على مجسم للنفق الهوائي ، حيث تم وضع بيت النحل و الحواجز الشبكية في غرفة التهدة و ربط هذه الأخيرة بالمتقارب الذي بدوره تم ربطه بغرفة الإختبار وربطها هي الأخرى بالناشر ثم الرابط و قناة المروحة أين تم وضع الثابت الذي يحمل المحرك الكهربائي المدور للمروحة.

أخيرا تم تجربة النفق الهوائي بتشغيل المحرك الكهربائي الحامل للمروحة ، حيث تم وضع الدخان أمام خلية النحل ليتم شفطه من طرف المروحة ، فلاحظنا الجريان على مستوى غرفة الإختبار أين تبين أن خطوط التيار تقريبا منتظمة (جريان صفيحي).

قائمة المصادر

والمراجع

قائمة المراجع:

[1] Celis B., Ubbens H. H. Design and Construction of an Open-circuit Wind Tunnel with Specific Measurement Equipment for Cycling. *Procedia Engineering*, Vol. 147, 2016, pp. 98-103, 2016. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.196

[2] Bell J. H., Metha R. D. *Contraction Design for Small Low-Speed Wind Tunnels*. NASA-CR-182747, 1988.

[3] R. Lanzafame, S. Mauro, M. Messina - Numerical and experimental analysis of micro HAWTs designed for wind tunnel applications - *International Journal of Energy and Environmental Engineering* - June 2016, Volume 7, Issue 2, pp 199–210 - DOI: 10.1007/s40095-016-0202-8

[4] Louis Cattafesta, Chris Bar, and Jose Mathew. “Fundamentals of Wind-Tunnel Design” (2010).

[5] Andrew R. Coggan, Ph.D. “The Coggan Low Speed Wind Tunnel: Design, Dimensions, and Operating Characteristics”. Adresse URL: <http://www.tririg.com/docs/CogganLSWT.pdf>

(2011).rof.Alberto Gaurdone,et al,(2009), Preliminary design of a Transonic wind tunnel, vol_1,pg.1-101.

[6] Andrew Wilsh, University of Wisconsin-Milwaukee. “Low Turbulence Wind Tunnel

Design and Wind Turbin Wake Characterisation”. Adresse URL:<http://dc.uwm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1183&context=etd> (2013).

[6] www.Noor-Book.com .

