# تَأثير تِقنية الطباعَة ثُلاثية الأبعَاد على تنفيذ مكملات المناظر والإكسسوار للأفلام السينمائية
# THE IMPACT OF 3D PRINTING TECHNOLOGY ON PROPS IN FILMMAKING

**سَلمى أحمد أحمد الشيخ**
قسم الديكور – كلية الفنون الجميلة – جامعة المنصورة، مصر

**Salma Ahmed Ahmed Elsheikh**
Décor Department, Faculty of Fine Arts, Mansoura University, Egypt

salmaelsheikh3@gmail.com

## الملخص

*مَرّت الحركة التشكيلية العَالمية بمراحل عِدة، حتى أضافت التكنولوجيا المُعاصرة إمكانيّات جَديدة للبشرية لم تكن موجودة من قبل، وانتقل ذلك إلى مَجال الفنون التشكيلية ومن ثم إلى صِناعة السينما؛ عندما أصبحت التقنية الرّقمية جزءً لا يتجزأ من صِناعة الأفلام ومُعالجة الصُّورة التشكيلية، مِمَا ضاعف من قدرة الإنسان على الإبداع الفني وأدّى إلى استحداث قيم جَمالية جديدة كانت مَحض خيال وأحلام.*

*تُعتبر الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة تكنولوجية جَديدة تسير بخُطى حَثيثة؛ فهي طَريقة لإنشاء كَائن ثلاثي الأبعاد طبقة تلو الأخرى باستخدام عَدَد من مواد الطباعة المُختلفة؛ كالمَساحيق والخيوط.. إلخ، بعد إنشاء تصميم مُسبق بواسطة أحد برامج الحَاسب الآلي المُختصَّة. إنَ تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد مُتنوعة للغاية؛ وعَالم صِناعة الأفلام هو مَجال آخر تُظهر فيه الطباعة ثلاثية الأبعاد إمكاناتها الكَاملة، فقد باتت الأكثر شيوعا واستخداما بين صُناع الأفلام الذين يَستخدمونها بطرق مُبتكرة، ويَصنعون أي شيء لتوسيع نطاق التصميم والتنفيذ.*

*من خلال هذه الورقة البحثية سَيتم إثراء الباحث ودَارس صِناعة السينما بالتعرف على تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد وكيفية توظيفها في الفيلم السينمائي، وخاصةً بتصميم مكملات المناظر والاكسسوار التي تعتبر جُزء أسَاسي في أي فيلم، مَساهمةً بذلك في تحديث وتدْعيم وَسائل التعبير السينمائية التي تهدف إلى تحقيق السِمات البصَرية الجَمالية والبُعد الفِكري والخَيال الجَارف؛ فالمكملات هي التي تعزز المَشهد بتحديد الوقت والمكان، وتُساعد المُمثل على الشعور بالدور بشكل أكبر.*

*يتحقق ذلك برَصد وتحليل أمثلة لتطبيقات التقنية في تصميم ومُعالجة تنفيذ مُكملات الأفلام السينمائية التي تم إنتاجها في الولايات المُتحدة الأمريكية "سِينما هُوليوود"، مُنذ بداية القرن الحَادي والعشرين إلى الآن؛ بهدف تَحديد إشكَالية تأثير الدُور الذي لعبته التقنية في تطور تنفيذ المُكملات المُستخدمة في الأفلام، وهل يمكن أن تحِل مَحَل بعض التقنيات المُستخدمة اليوم؟ وما هِي المَزايا التي يمكن أن تجلبها والقيود التي يجب التغلب عَليها؟ وقد أفضَتْ الدِراسة أنه بالفعل يمكن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لتنفيذ مكملات المناظر والاكسسوار المُستخدمة في الأفلام السينمائية.*

## الكلمات المفتاحية

تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد؛ مُكملات المناظر والإكسسوار؛ صِناعة الأفلام

## ABSTRACT

*The global formation movement went through several stages, until contemporary technology added new possibilities for mankind that did not exist before; by increasing man's ability to create new aesthetic values that were pure imagination. This shifted to the field of fine arts and then to the film industry; when digital technology became an integral part of filmmaking.*

*3D printing is a new technological revolution that is progressing rapidly, it's a way to create a 3D object layer by layer using a number of different printing materials, such as powders and threads… etc., after creating a model design by one of the specialized computer programs. The applications of 3D printing are very diverse, and filmmaking is another area where it shows its full potential; it has become the most commonly used among filmmakers who use it in innovative ways.*


حقوق النشر © ٢٠٢١ المؤتمر DTAA21

*This research paper enriches the researcher and scholar of the film industry by learning about the technology of 3D printing and how to use it in films, especially the design of the props that are an essential in the making of any film; through enhancing the scene and helping the actor to feel the role more, thus contributing to the strengthening of the cinematic means of expression.*
*This will be achieved by monitoring and analyzing examples of applications of the technology in the making of props in films produced in USA "Hollywood cinema", from the beginning of the 21st century to the present; in order to determine the problematic impact of the role played by the technology in the development of the implementation of props used in films, and what are the advantages and limitations must be overcome? Eventually, it was concluded that the technology of 3D printing could actually be used to design and implement the props used in films.*

## KEYWORDS

3D printing technology; Props; Filmmaking

### المُقدمة

ليس من قبيل الصدفة أن يطلق على صناعة الأفلام اسم "الصناعة" في هوليوود؛ فمنذ بداياتها كانت صناعة الأفلام عملية صناعية بحتة، وتُعد مكملات المناظر والاكسسوار أحد أهَم العناصر الجذابة والمُثيرة في هذه الصناعة؛ نظراً لظهور تقنيات متقدمة سَاعدت على تجسيد وإخراج تلك المكملات بصورة مُبهرة وواقعية. كلمة"prop" هي اختصار لكلمة "property"، و تشير إلى أي كائن تتفاعل معه الشخصية أثناء حَركة المشهد، فهي أشياء أو عناصر أو كائنات تشكل جزءًا من تصميم وإنتاج فيلم. قد تأتي في صورة: خرائط، أقنعة، الآلات، أسلحة، أعمالاً فنية، مجوهرات، أو حتى شخصية في حد ذاتها. غالبًا ما يتم تجاهل بعض المكملات باعتبارها مُجرد أشياء تمثل جزءًا من القصّة، إلا أن المكمِل المختار جيدًا والمعروف بمثابة رمزاً لمخطط الفيلم بأكمله .
في السنوات الأخيرة، أحدث التطور التكنولوجي تقدماً في كيفية إنجاز الأشياء خلف كَواليس صِناعة السينما، و جودة هيئة صورة المكملات بشكل واقعي مُذهل من خلال أساليب و طرق إنشائها و تنفيذها؛ حيث تم تضمين تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D printing technology والمَاسح الضوئي ثلاثي الأبعاد 3d Scanner في إنتاج مكملات المناظر والاكسسوار لمَجموعة متنوعة من الأفلام، مثل:Skyfall ، و Star Wars: The Force Awakens ، و Guardians of the Galaxy،وThor: The Dark World .
تعتمد تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على إنتاج أشكالٍ ذات درجةٍ عاليةٍ من التعقيد بأقل ما يمكن من المواد المستخدمة في التصنيع بالطرق التقليدية، فهي عمليةُ تصنيع مواد جديدة بالاعتماد على ملفاتٍ رقميةٍ؛ حيث يمكن بناء مجسم ثلاثي الأبعاد باستخدام البرامج الحاسوبية المُختصة بذلك أو الاستعانة بالماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد، وهو تقنية غير تلامسيه وغير مدمرة، تقوم بتحويل كائن ثلاثي أبعاد فيزيائي إلى نموذج ثلاثي أبعاد رقمي، بواسطة أجهزة تعمل بتقنيات مُختلفة تلتقط تفاصيل النموذج؛ كالشكل والملمس واللون وتفاصيل أخرى، وتعمل على نمذجتها رقمياً بمساعدة برامج خاصة، لينتج في النهاية شكل الجسم المُراد تصنيعه، و بذلك يُصبح ذلك مَجالا خصباً للتحليل و الدراسة.

### أهَمية البَحث

البحث يثرى الباحث ودَارس صِناعة السينما بالتعرف على تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد وكيفية توظيفها في الفيلم السينمائي، خاصةً بتنفيذ مكملات المناظر والاكسسوار التي تشغل أهمية كبيرة في صناعة أي فِيلم سينمائي .

### أهْداف البَحث

تهدف الدراسة البحثية لتحديد تأثير الدور الذي لعبته تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تطور تنفيذ مكملات المناظر والاكسسوار المُستخدمة في الأفلام السينمائية، والتعرف على مُميزاتها وعُيوبها .

### مَنهج البَحث

يتبع البحث المنهج التَحليلي لمُكملات مناظر واكسسوار الأفلام السينمائية التي تم استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبْعاد في تنفيذها.

### إشكَالية البَحث

تدور حول إشكالية تأثير تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على مُعالجات مكملات المناظر والاكسسوار في الأفلام السينمائية، وهل يمكن أن تكون بديلاً لطرق مُعالجة التشكيل القديمة في الفيلم السينمائي؟

### حُدود البَحث

حدود زمانية: من بداية القرن الحَادي والعشرين إلى الآن. حدود مكانية: الولايات المتحدة الأمريكية "سينما هُوليوود".

## ١. مكملات المناظر والإكسسوار/ الدعائم Props

### ١,١ تعريف المُكملات المستخدمة في الأفلام السينمائية


حقوق النشر © ٢٠٢١ |المؤتمر DTAA21

يُعتبر قسم الفن Art Department هو الأكبر في طاقم الفيلم، والمسؤول عن الجوانب المرئية في صناعة الأفلام، ويُشرف عليه مُصمم الإنتاج. أما قسم مكملات المناظر والاكسسوار/ الدعائم Property Department فيُمثل جزءاً أساسياً من قسم الفن، والمُكمِل بشكل عام هو أي كائن مادي يلمسه أو يستخدمه الممثل أثناء الأداء (Hart, The Prop Building Guidebook, 2013).
يُشرف على قسم مكملات المناظر والاكسسوار خبير المُكمِلات Prop Master/Property Master، وهو الشخص المسؤول عن التحكم في الجوانب المختلفة لإدارات قسم مكملات المناظر والاكسسوار؛ من حيث:

١. قيادة قسم مكملات المناظر والاكسسوار والعمل مع القسم الفني تحت إشراف المخرج والمدير الفني ومصمم الإنتاج.
٢. حضور اجتماعات الإنتاج مع المدير الفني ومصممي الديكور والأزياء؛ لتحدد أي المُكملات يمكن الحصول عليها من خلال شركة تأجير أو شراؤها، وأيها يمكن تنفيذها بواسطة صانعي المُكملات، وتخصيص الميزانيات لذلك.
٣. تفكيك وتحليل كل مشهد لتحديد أي الدعائم ستكون مَطلوبة لإحياء المشهد.
٤. تحميل ونقل وتخزين جميع المكملات حتى الإنتاج، والحفاظ على أمنها وسلامتها.

لذا يجب على خبير مكملات المناظر والاكسسوار التحلي ببعض المهارات المهمة، تتمثل في الآتي:

١. خلفية ثقافية قوية في التاريخ والمواقع وغيرها والقدرة على إجراء بحث وما يتضمنه ذلك من استخدام الحاسب الآلي والإنترنت والكتب... إلخ؛ لتحديد الخصائص التي يجب أن تتضمنها مكملات المناظر والاكسسوار الخاصة بكل فيلم.
٢. التمتع بمهارات تفاوض قوية، تمكنه من التفاوض على عقود الممتلكات المذكورة مع البائعين.
٣. القدرة على إدارة المشاريع والوقت بحكمة، والتعامل مع تعدد المهام والإبقاء على الميزانية بحرفية.
٤. الفهم المتعمق لمتطلبات وإجراءات الصحة والسلامة الخاصة بالدعائم.

يعمل تحت خبير مكملات المناظر والاكسسوار فريق عمل مُتكامل من صانعي المُكملات Prop Makers؛ حيث يستطيعون التخطيط وإجراء الأبحاث اللازمة لتنفيذ أي مُكملات مناظر و إكسسوار لم يتم شراؤها أو استئجارها من الخارج مَع الالتزام بالميزانية و الجدول الزمني المُحدد، كما يمكنهم تكييفها أو تعديلها بما يتراءي لرؤية خبير المُكملات والمُخرج. لذا يجب عليهم التحلي ببعض المهارات، تتمثل في الآتي:

١. المرونة والبراعة والخيال الواسع في حل المشكلات.
٢. الانفتاح على الأفكار الجديدة، وتعلم المهارات والتقنيات جديدة.
٣. الدقة والاهتمام بالتفاصيل.
٤. الإحاطة بمتطلبات الصحة والسلامة والقدرة على العَمل بأمان مع المواد المُختلفة عند تنفيذ المكملات.
٥. المعرفة الواسعة والخبرة بأساسيات صِناعة مكملات المناظر والاكسسوار.

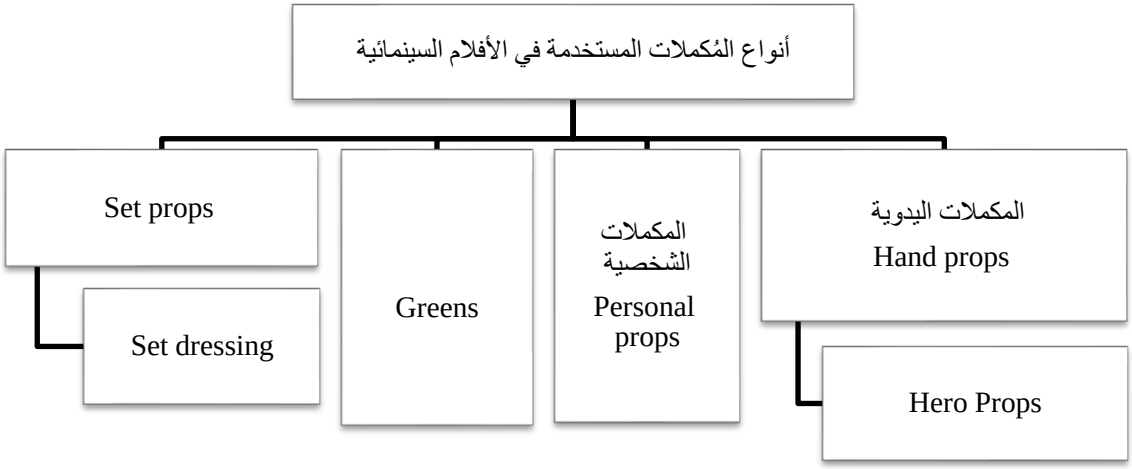
### ١,٢. أهمية المُكملات المستخدمة في الأفلام السينمائية

تُساعد مكملات المناظر والاكسسوار في تحسين الأداء ومِصداقية الفيلم؛ حيث أنها تعطي للجمهور أدلة غير واعية حول الشخصية أو المشهد؛ فالمكملات تكْمِل الشخصية وتحفزها، وتساعد المَمَثل على الشعور "بالدور" بشكل أكبر، وربما أيضاً تساعد في إبراز الحالة المزاجية، بالإضافة إلى أنها تهيئ المَشهد؛ بتحديد الوقت والمكان والبيئة الثقافية (Cash, 2020).


حقوق النشر © ٢٠٢١ |المؤتمر DTAA21

### ١,٣. أنواع المُكملات المستخدمة في الأفلام السينمائية

عادةً ما تصنف المُكملات إلي:




*شكل توضيحي١ : أنواع المُكملات المُستخدمة في الأفلام السينمائية*

١. مُكملات المناظر والإكسسوار اليدوية Hand props
   - كل ما يتعامل معه المُمَثل أو يحمله في يده، مثل: الأسلحة والطعام والعصي والمظلات وأي شيء يمكن للممثل التقاطه بيده.
   - تمثل ال Hero Props جميع المكملات التي تحملها الشخصية الرئيسية "البطل" في الفيلم.
٢. مُكملات الإكسسوار الشخصية Personal props
   - تشمل كل ما يرتديه الممثل، مثل: مُكملات الإكسسوارات.
٣. Greens
   - تمثل أي نباتات سواء كانت حية أو اصطناعية.
٤. Set props
   - هي كل ما يضيف مظهر إلى المكان الذي يتفاعل معه الممثل.
   - Set props: كل مكملات الديكور الذي يتفاعل معها الممثل، مثل: الكراسي و الأسرة... إلخ.
   - Set dressing: كل مُكملات الديكور الثابتة التي لا يتفاعل معها الممثل، مثل: الثريات ولوحات الحائط... إلخ.

### ١,٤. الأساليب المُستخدمة قديماً في تنفيذ مكملات المناظر والإكسسوار

السَبَب الرئيسي لبناء المُكملات هو عَدم تَوفرها، علي الرغم من أنه يمكن ببساطة تكييف ما تم شراؤه أو استئجاره؛ إلا أن ذلك يَستهلك الجهد والمال، لذا يحسم خبير المُكملات القرار بتنفيذ المكملات المطلوبة من الصفر إما بالطرق التقليدية، و تتمثل في:

١. الرسم الفنيTechnical Drawing.
٢. النحت Sculpting.
٣. صُنع القوالب Mold Making.
٤. الصَّب Casting.
٥. أعمال الألياف الزجاجية والجص Fiber Glass and Plaster Work.
٦. التشكيل بالفراغ Vacuum Forming.
٧. تأثيرات الطلاء Paint Effects.
٨. البناء Construction.
٩. اللحام Welding.
١٠. نحت البولسترين Polystyrene Carving.
١١. مهارات حشو الجسم Body padding.


حقوق النشر ٢٠٢١ © المؤتمر DTAA21

١٢. أعمال السيليكون والراتنجات Silicone and Resin work.
١٣. التصنيع وصنع النماذج Fabrication and Model making.

وذلك باستخدام مَواد مختلفة قد تشمل: الستايروفوم Styrofoam، البلاستيك، الإلكترونيات، المعادن، الأخشاب أو الزجاج (Griesinger, 2018). أو يلجأ خبير المُكملات إلى تقنيات التصنيع الحديثة مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد، وهو ما سيتم التطرق له لاحقاً في البحث.

## ٢. تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

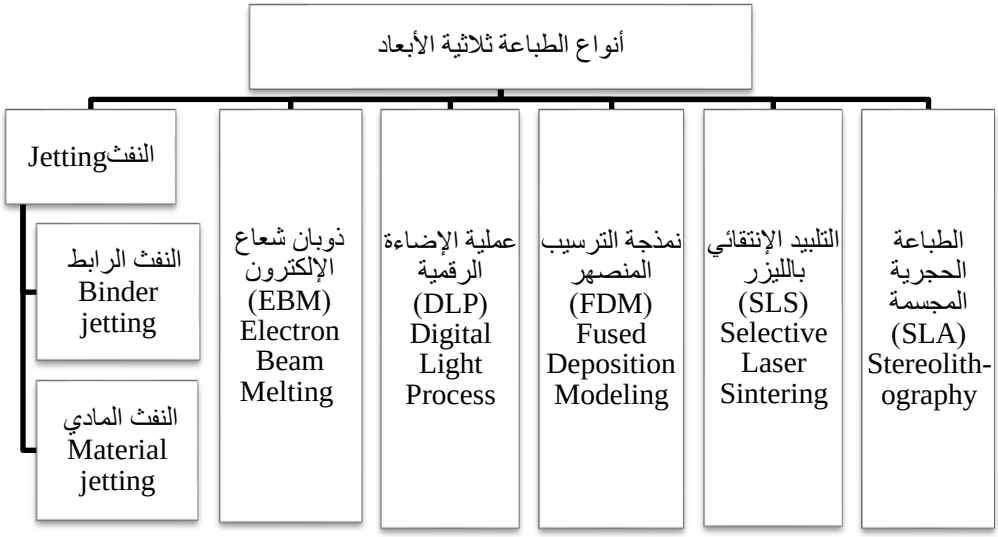
### ٢,١. تعريف تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

تعرف تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد أيضاً بالتصنيع المضاف(Additive Manufacturing (AM، وهي طريقة لإنشاء كائن ثلاثي الأبعاد طبقة تلو الأخرى باستخدام مواد الطباعة؛ كالبلاستيك والمساحيق.. إلخ، بعد إنشاء تصميم مُسبق بواسطة برامج التصميم مفتوحة المصدر، مثل: Autodesk 3ds Max، وهذا عكس عملية النحت (التصنيع الطرحي)؛ حيث يتم قطع التصميم النهائي من كتلة أكبر من المواد.

تواجدت عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد في الطبيعة منذ قديم الأزل؛ حيث الهياكل الخارجية للرخويات كالقواقع والمحار وغيرها، ويطلق عليها اسم "الأصداف البحرية". تلك الهياكل أو الأصداف تتكون في الغالب من كربونات الكالسيوم مع كمية صغيرة من البروتين، وبالتالي تنمو الأصداف البحرية من الأسفل إلى الأعلى، ونظراً لعدم وجود هيكل عظمي للرخويات، فإنه من الضروري أن تكبر الصدفة لتلائم نمو الجسم الرخوي داخلها، وهو ما يشبه عَملية الطباعة ثلاثية الأبعاد. كما أنها تظهر أيضاً في الكهوف حيث تستمر العملية لألاف السنوات حيث تتساقط قطرات الماء وتصنع طبقات وطبقات من الرواسب المعدنية التي تتراكم لتتشكل الصعود والهبوط. (خليل، ٢٠١٨)

### ٢,٢. أنواع الطباعة ثلاثية الأبعاد

تشمل الطباعة ثلاثية الأبعاد العديد من تقنيات التصنيع؛ حيث يختلف كل منها في طريق التشكيل والمواد المستخدمة ومتانتها وتكلفتها (McMills, 2017, p. 4)، مثل:




*شكل توضيحي٣: أنواع الطباعة ثلاثية الأبعاد*


حقوق النشر © ٢٠٢١ |المؤتمر DTAA21

٢,٣. **الخَطوات الرئيسية التي تتخذها الطابعات ثلاثية الأبعاد لإنشاء نمُوذج** (عبد الله، ٢٠١٦، الصفحات ٢٦٦-٢٦٧):

*شكل توضيحي٢ : خطوات طباعة نموذج باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد*

١. الحصول على نسخة رقمية من المُنتج
- يتم تصميم المُنتج باستخدام إحدى برامج التصميم مفتوحة المصدر، مثل (McMills, 2017, p. 82): SketchUp- Zbrush- 3ds Max- 3D Rhino.
- يتم استخدام المَاسح الضوئي ثلاثي الأبعاد 3D scanner، وهو تقنية تستخدم الماسح الضوئي لالتقاط شكل نموذج ما بجمع البيانات الخاصة به؛ حيث ينتج عن ذلك ملف ثلاثي الأبعاد للنموذج يمكن حفظه أو تحريره أو حتى طباعته باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد (team, 2021).

٢. تحويل التصميم إلى كود تفهمه الطابعة G-code
- G-code: عبارة عن ملف يحتوي علي جميع الأوامر التي ستنفذها الطابعة حتي تنتهي من تصنيع المنتج، مثل: درجة الحرارة و سمك الطبقة و عدد الطبقات...إلخ .

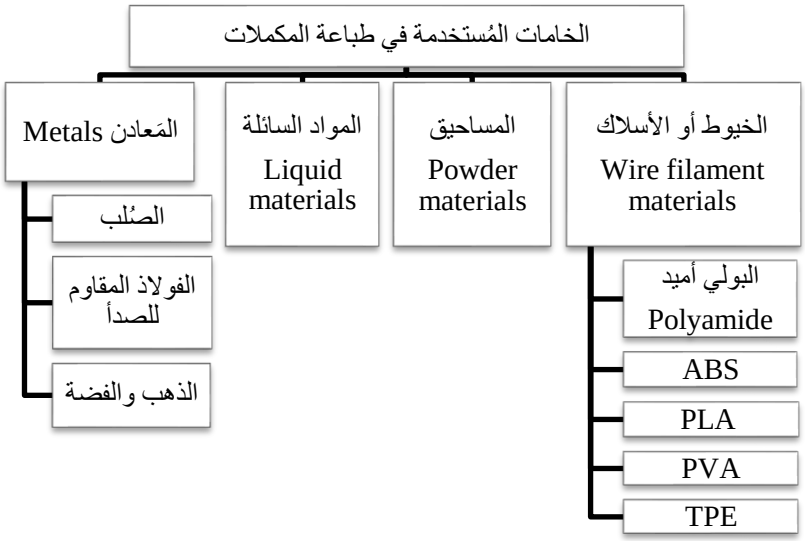
٣. تجهيز الطابعة وتحميل الG-code

٤. عملية الطباعة نفسها

٥. مُعالجة المنتج
- يتم إزالة المسحوق أو الأجزاء الزائدة المتبقية يدوياً أو في الماء.
- يتم مُعالجة المنتج بالصنفرة لتنعيم السطح ومنع الخدوش.
- يمكن صباغة المنتج أو طلائه يدوياً للحصول على الشكل النهائي.

٢,٤. **الخامات المُستخدمة في طباعة مكملات المناظر والإكسسوار باستخدام تقنية الطبعة ثلاثية الأبعاد**

تُعد مواد الطباعة مطلبًا إلزاميًا لإكمال عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد، ومن أهم المواد المُستخدمة:(Kamran & Saxena, 2016, p. 65)




*شكل توضيحي٤ : الخامات المُستخدمة في طباعة المكملات*


حقوق النشر © ٢٠٢١ |المؤتمر DTAA21

## ٣. تحليل أفلام سينمائية استخدمت تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ مكملات المناظر والإكسسوار

يُعتبر تحليل الأفلام هو المنهج الأساسي المُتبع في هذا البحث، كتطبيق على ما تم دراسته واستعراضه مسبقاً؛ بفهم ماهية مكملات المناظر والإكسسوار والطباعة ثلاثية الأبعاد والدمج بينهما للوصول لصوره نهائية متكاملة تسُر المُشاهد، وتسُاعد دارسي صناعة السينما وصانعي المُكملات على الاستفادة من نماذج حقيقة والتطبيق المُستقبلي.
نستعرض فيما يلي نماذج مُختلفة من الأفلام بحسب الترتيب الكرونولوجي، منها ما حقق المعادلة بتطبيق الطباعة ثلاثية الابعاد في تنفيذ مُكملات الإكسسوار، والبعض الآخر ظهر استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في الفيلم إلا أنه يصعب تحقيقها في الواقع لأسباب مُختلفة.

### ٣,١. فيلم "المُهمة المُستحيلة ٣ Mission: Impossible III " عام ٢٠٠٦م، (إخراج: ج. أبرامز J.J. Abrams).

*شكل١ : عَمل مسح ثلاثي لرأس الممثل ثم استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد*

منذ الستينيات لَعبت أقنعة الوجه دورًا محوريًا في الأفلام الجاسوسة؛ فعادة ما يتنكر العملاء في أقنعة بوجوه أشخاص آخرين لاستخراج معلومات قيمة من الأهداف دون الكشف عن هوياتهم الحقيقية. لعبت أقنعة الوجه دورًا محوريًا في امتياز أفلام "المهمة المستحيلة"؛ فعادة ما يتنكر العملاء في أقنعة اللاتكس latex أو السيليكون لاستخراج معلومات قيمة من أهدافهم دون الكشف عن هوياتهم الحقيقية.
فيMission: Impossible III ، استخدمت تقنية الطابعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء نسخة من رأس أوين دافيان (فيليب سيمور هوفمان)؛ حيث قامت قوة المهمات المستحيلة (IMF) بطباعة القناع بعد مسح ثلاثي الأبعاد لرأس دافيان، وتم تكليف إيثان هانت (توم كروز) بارتداء القناع لإخفاء هويته. (Obudho, 2019)

**تعليق الباحثة على الفيلم**

وفقًا لخبير تقني في شركة FBFXللمؤثرات البصرية وتقنيات المسح ثلاثي الأبعاد 3D scanning وصناعة المكملات بالمملكة المتحدة، من الممكن إنشاء قناع باستخدام الماسح الضوئي ثلاثي الابعاد، إلا أن التطور الملحوظ في Mission: Impossible III لا يزال غير قابل للتحقيق؛ هذا لإن المشكلة ليست الطباعة ولكن حقيقة أن القناع يحتاج إلى معالجة ما بعد الطباعة قبل أن يصبح جاهزًا للاستخدام؛ من إضافة للشعر وصباغة لون البشرة.. إلخ، بالإضافة الي انه عادةً ما يتطلب القناع المطبوع ثلاثي الأبعاد قولبة قبل أن يمكن ارتداؤه. وهذا ما تم تجاهله في الفيلم.

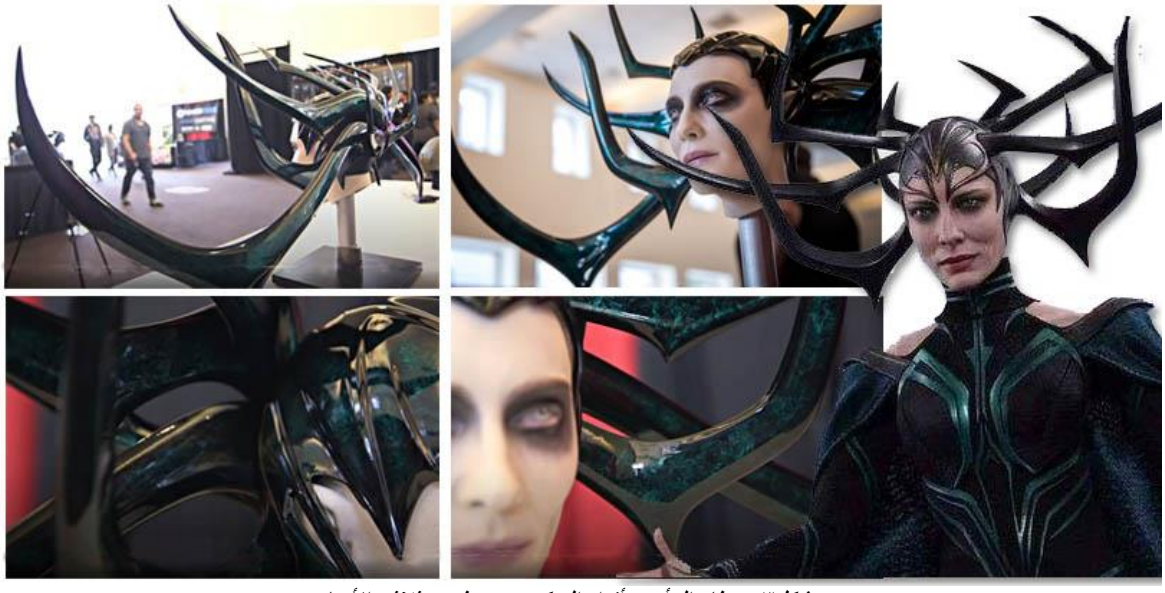

حقوق النشر ٢٠٢١ © المؤتمر DTAA21

٣,٢. **فيلم "صفر الظلام ثلاثون zero dark thirty" عام ٢٠١٢م، (إخراج: كاثرين بيجلو Kathryn Bigelow).**

*شكل٢: نظارات خاصة للرؤية الليلية مطبوعة ثلاثية الأبعاد*

يدور الفيلم حول عمليات مطاردة ليلية لتنفيذ غارة ليلية من قِبَل فقمات البحرية. يستخدم الجنود نظارات خاصة للرؤية الليلية لمساعدتهم على الرؤية في الظلام، ومع ذلك فإن الحصول على هذه النظارات الواقية لفيلم سيكون شبه مستحيل؛ بسبب التكلفة ومحدودية التوافر. لذا تم الاستعانة بفريق المُكملات لإنشاء نسخة مطبوعة ثلاثية الأبعاد مماثلة للأصلية بناءً على المعلومات المتوفرة علي الإنترنت. كان مكمل الإكسسوار هذا أخف وأسهل بكثير في العمل معها في التصوير، وبالطبع أقل تكلفة .(Stevenson, 2019)

٣,٣. **فيلم "ثور راغناروك Thor Ragnarok" عام٢٠١٧م، (إخراج: تايكا وايتيتي TaikaWaititi).**



*شكل٣: غطاء الرأس "أقدام العنكبوت" مطبوع ثلاثي الأبعاد*

لعبت الممثلة كيت بلانشيت دور "هيلا" الشريرة في فيلم Thor Ragnarok، حيث كانت ترتدي غطاء للرأس مطبوعًا ثلاثي الأبعاد لهذا الدور. تم وصف غطاء الرأس المثير للإعجاب في مقطع فيديو تم نشره مؤخرًا بواسطة Adam Savage بعنوان "Tested" ، حيث شرح خوسيه فرنانديز Jose Fernandez، الفنان الإبداعي الرائد فيIronhead Studio ، وهي شركة مؤثرات متخصصة في تصميم الأزياء و مكملات الاكسسوار والمخلوقات- عملية إنشاء غطاء الرأس "أقدام العنكبوت". (Tess, 2017)
أولاً وقبل تصميم غطاء رأس هيلا المميز، التقط فريق عمل Ironhead Studio مسحًا ثلاثي الأبعاد لرأس الممثلة كيت بلانشيت؛ بحيث يمكن تكييف التصميم بشكل مخصص مع أبعاد جمجمتها، ثم بدأ الفريق في تصميم قطعة رأس مثيرة يمكن ارتداؤها بشكل مريح بما فيه الكفاية والتي لن تتطلب قطعًا كبيرة لتثبيتها على رأس مرتديها. بمجرد الانتهاء من التصميم، تمت طباعة القرون ثلاثية الأبعاد كقطع فردية باستخدام تقنية التلبيد الانتقائي بالليزر (SLS) ثلاثية الأبعاد؛ حيث استخدمت مادة خفيفة الوزن مليئة بألياف الكربون وليزرًا عالي الطاقة - بدلاً من مادة رابطة - لدمج كل طبقة من المسحوق في مادة صلبة.
بعد الانتهاء من الطباعة تم تجميع الأجزاء يدويًا؛ حيث تتطلب كل من عملية التصميم والتجميع عناية فائقة للتأكد من أن غطاء الرأس خفيف بما يكفي لارتدائه، والأهم من ذلك أنه كان متوازناً. وفقًا لفرنانديز، تزن قطعة الرأس بأكملها حوالي ٤ أرطال -أي ما يعادل ١,٨ كيلوجرام تقريبا- ويمكن تثبيتها بغطاء جمجمة مرتديها باستخدام مغناطيس إغلاق مخفي، مما يجعلها أكثر واقعية (Fernandez, 2017) .
من المثير للاهتمام، أن غطاء الرأس صمم ليكون معياريًا؛ مما يعني ان كل قرن هو قطعة منفصلة، لذلك يمكن نزع بعضها عن غطاء الرأس في حالة رغبة المخرج أو هيلا في ارتداء القليل منها سواء من أجل تنقل أفضل أو غير ذلك. وبالطبع، كانت المعالجة اللاحقة لمكمل الاكسسوار المتقن بنفس أهمية الطباعة ثلاثية الأبعاد نفسها؛ حيث لعب عدد من مصممي استوديو Ironhead دورهم في تحقيق لمعان القرون، فبحسب ما ورد تطلب الطلاء وحده ما يصل إلى عشر طبقات لتحقيق النهاية العميقة شبه المعدنية.

### ٣,٤. فيلم "الفهد الأسود Black Panther" عام ٢٠١٨م، (إخراج وتأليف: ريان كوجلير Ryan Coogler).

*شكل٤: طباعة ثلاثية الأبعاد لقبعة الزولو وغطاء الكتف للملكة "رامواندا"*

احتل تصميم الأزياء ومكملات الإكسسوار الفاتنة الذي صممه روث إي كارتر Ruth E. Carterمركز الصدارة؛ من أجل إحيائها مزيجاً من التصاميم الأفريقية التقليدية والعناصر المستقبلية لحضارة واكاندا المتطورة للغاية. تعاونت كارتر مع جوليا كورنر Julia Koerner في تصنيع أحدث مكملات الاكسسوار القابلة للارتداء للملكة رامواندا، وهي مصممة متعددة التخصصات ذات خبرة في الهندسة المعمارية والتصميم الصناعي وتصميم الأزياء، ومتخصصة في المكملات القابلة للارتداء المطبوعة ثلاثية الأبعاد.
واكاندا Wakandaهي حضارة متقدمة تقنيًا بشكل لا يصدق، ولكن نظرًا لعزلتها عن بقية العالم، فقد احتفظت بجذورها العميقة بثقافتها الأفريقية، لذلك كانت الفكرة وراء تصميم الأزياء ومكملات الاكسسوار في Black Panther المزج بين التقاليد والحداثة المفرطة، ولم يكن دائمًا توازنًا سهلاً لتحقيقه.


حقوق النشر ٢٠٢١ © |المؤتمر DTAA21

في حالة والدة T'Challa ، الملكة Ramonda ، تكمن الإجابة على اللغز في الطباعة ثلاثية الأبعاد باعتبارها تقنية قادرة على إنشاء تصميمات وهياكل معقدة بشكل لا يصدق، و بالتالي فإنها الطريقة المثالية لخلق هذا التعايش بين القديم والجديد. أرادت كارتر أن يشبه تاج راموندا التيجان التقليدية التي ترتديها نساء الزولو المتزوجات، لكنها احتاجت إلى لمسة مستقبلية لتبدو وكأنها واكاندا حقًا، لذا ابتكرت جوليا كورنر تصميمًا رقميًا ذا زخارف بأنماط تخريمية مُفصلة يمزج بين هاتين الفكرتين ويستفيد بالكامل من حرية التصميم التي توفرها تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، جاء ذلك بالتعاون مع الشركة البلجيكية ماتريليزا Materialise NVNV الخبيرة في مختلف تقنيات ومواد الطباعة ثلاثية الأبعاد.

كان من المهم ألا يبدو كلاً من التاج واكسسوار الكتف مصنوعاً يدويًا بل مثالي، لذا كان التصميم أول الخطوات فحسب، قالت كارتر:" إن الأمر استغرق ستة أشهر للحصول على التصميم الصحيح". يليه أهمية اختيار مواد الطباعة المُستخدمة ونوع التقنية ثلاثية الأبعاد؛ حيث أتاح التنوع الكبير من التقنيات والمواد حرية استكشاف أفضل ما يناسب تصميمات جوليا، وبعد تجربة بعض الخيارات المختلفة، اقترحت شركة ماتريليزا تلبيد القطع بالليزر باستخدام مسحوق البولي أميد١٢ PA12. تلبيد الليزر (SLS) هي تقنية طباعة ثلاثية الأبعاد حيث يتم إنتاج جزء عن طريق إذابة طبقة من جزيئات المسحوق معًا باستخدام الليزر ودمجها طبقة تلو الأخرى، وبمجرد الانتهاء من الطبقة الأولى تتم إضافة الطبقة الثانية وهكذا، حتى يتم بناء الجزء المُراد طباعته بالكامل ويُعالج بإزالة المادة الزائدة المحيطة به. (Howarth, 2019)

عند استخدام مادة البولي أميد ١٢، تميل الأجزاء المطبوعة إلى أن تكون متينة وصلبة، مما يجعلها (للوهلة الأولى) اختيارًا غير عادي للتصميم الذي يتطلب درجة من المرونة. ومع ذلك، فإن النتائج النهائية للجزء المطبوع ثلاثي الأبعاد تعتمد على التصميم تمامًا كما تعتمد على المادة والتكنولوجيا؛ فقد ابتكرت جوليا هيكلًا تم تصميمه بذكاء بحيث أصبح البولي أميد الملبد بالليزر مرنًا بما يكفي كما أنها مناسبة تمامًا للتلامس مع الجلد، وبالتالي تمكنت الممثلة أنجيلا باسيت، التي تلعب دور الملكة راموندا من ارتدائها بشكل مريح، إلي جانب أنها قاسية بما يكفي للاحتفاظ بشكلها الملكي المهيب. قالت كورنر: "شاهدت لقطات خلف الكواليس حيث كانت أنجيلا باسيت ترقص وفوجئت بمدى متانة القطع".

### ٣,٥. فيلم "المحيط ٨ Ocean's 8" عام ٢٠١٨م، (إخراج: جاري روس Gary Ross).

*شكل٥: عمل مَسح ثلاثي الأبعاد لقلادة ثم طباعتها لتطابق الأصل*

في Ocean's 8 ، يخطط فريق من المحتالين بقيادة ساندرا بولوك وكيت بلانشيت، للحصول على عقد مرصع بالألماس من Cartier بقيمة ١٥٠ مليون دولار عن طريق إنشاء نسخة طبق الأصل. يستخدم طاقم السطو زوجًا من نظارات الكاميرا مع ماسح ضوئي ثلاثي الأبعاد مُدمج للحصول على صورة رقمية للعقد، ولا يُطلب من مرتدي العدسات سوى التحديق في الشيء المعني - من زوايا مختلفة - حتى تومض العدسات بنسبة "١٠٠٪"؛ لإنشاء ملف رقمي مثالي لا يتطلب أي إصلاح أو تغيير حجم أو ملء أي ثغرات في البيانات. (Goehrke, 2018)

يتم تحميل الصور على ال Cloud، وبمجرد استلام الفريق للملف الرقمي، تمت طباعة النسخة ثلاثية الأبعاد باستخدام طابعة MakerBot Replicator Z18، التي توفر حجم بناء هائل وسرعة ودقة عاليتين. كانت التكنولوجيا المستخدمة بوضوح تظهر على


حقوق النشر © ٢٠٢١ |المؤتمر DTAA21

أنها نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) وهي أكثر نواع الطباعة ثلاثية الأبعاد شيوعا واستخداما يتم خلالها بثق خيوط اللدائن الحرارية (أو البلاستيك القابل للطرق عند تسخينه) من خلال فوهة صغيرة إلى طبقات دقيقة تتراكم فوق بعضها البعض لإنشاء نموذج؛ حيث أنهى الطارد رأس التمثال ديفيدDavid مع عدم وجود أي دعامات أو مادة لاصقة بمنصة الطباعة.
النسخة المتماثلة المطبوعة ثلاثية الأبعاد - المصنوعة من الزركونيوم - شبه مثالية بصريًا وتستخدم لخداع الجميع، بما في ذلك دافني كلوجر (آن هاثاواي) حتى يتم فحصها باستخدام العدسة المكبرة لصائغ المجوهرات.

**تعليق الباحثة على الفيلم**

وفقًا للرئيس التنفيذي لشركة Shapeways الهولندية والمتخصصة في تقديم خدمات الطباعة ثلاثية الابعاد المُختلفة، جريجوري كريس Gregory Kress، فإن الطباعة ثلاثية الابعاد المتوفرة حاليًا غير قادرة على إضفاء لمسة باهظة الثمن ومن المستحيل تقريبًا طباعة أحجار كريمة ذات مظهر أصلي- في الوقت الحالي على الأقل، وأقرب ما يمكن تحقيقه يكون باستخدام الريزن الأحمر الشفاف أو البلاستيك؛ لأنه لا يزال من المستحيل طباعة الزركونيوم. (Obudho, 2019)
تجاهل الفيلم الصعوبات التي تواجهه الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد مع الأسطح العاكسة، بالإضافة الي انه تم إجراء عملية المسح Scanningمن الأعلى فقط دون أي فحص من الجانب السفلي للقلادة، وأدى ذلك إلى إنشاء ملف رقمي مثالي على ما يبدو لا يتطلب أي إصلاح أو تغيير حجم أو ملء أي ثغرات في البيانات.
كانت المادة المستخدمة طوال الفيلم هي الزركونيوم، ولا يوجد أي لقطة تُظهر شكل المادة المُستخدمة ولا كيفية إدخالها الي الطابعة ثلاثية الابعاد، بل ظهر طباعة القلادة مباشرة بعد طباعة التمثالDavid. إن تقنيات التصنيع المُضاف المستخدمة لتصنيع مواد الزركونيوم هي التلبيد الانتقائي بالليزر (SLS)، وذوبان الليزر الانتقائي (SLM)، والطباعة الحجرية المجسمة (SLA)، والطباعة بنفث الحبر (IJP)، ولكن العملية الأكثر شيوعًا والمتاحة في السوق هي معالجة الضوء الرقمي (DLP). نستنتج من ذلك أن تطبيق عملية نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) لم تكن منطقية بالمرة. (Is 3D printing with Zirconia possible?, 2021)
قد لا تكون الطباعة البلورية مثل Ocean's 8 موجودة تمامًا بعد، لكن صناعة الطباعة ثلاثية الأبعاد قد أنجزت بالفعل بعض الإنجازات المذهلة. وبالمعدل الجاري، قد تصبح تقنية طباعة عقد ماسي حقيقة.

## ٤. استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ مكملات المناظر والإكسسوار

يمكن للطابعات ثلاثية الأبعاد أن تلعب دورًا في كل صناعة تقريبًا، وبالطبع صِناعة السينما كما في الأمثلة التي سبق عرضها؛ فلا يتم استخدامها فقط لطباعة النماذج الأولية في مَرحلة ما قبل الإنتاج؛ بل يُكلف صَانعو الأفلام والمخرجون قسم الدعائم بطباعة المنتجات النهائية وأبرزها مكملات المناظر والإكسسوار.

### ٤,١. مُميزات استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ مكملات المناظر والإكسسوار

١. الجودة والدقة والسرعة بشكل لا يصدق، وبالتالي اختصار الوقت والجهد والتكلفة.
٢. تغذية الإبداع في عملية التصميم؛ من خلال السماح بإنشاء المئات من النماذج الأولية، وبالتالي القدرة على مناقشة الأفكار بشكل مادي، وسهولة مشاركة جميع المعنيين.
٣. القدرة على ابتكار مكملات مناظر وإكسسوار أكثر واقعية أو مُعقدة التصميم بارزة أو مُتداخلة من استخدام الأساليب التقليدية في التنفيذ.
٤. المرونة وسهولة تعديل التصميم (عبد العزيز، ٢٠٠٦، صفحة ٩٦).
٥. القدرة على نسخ التصميمات باستخدام الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد 3D Scanner وتحويلها إلى مُنتج ثلاثي الأبعاد مُطابق لكل المواصفات القياسية، وتكرار العملية لعدد لا نهائي من المرات وبأحجام مُختلفة.
٦. لم يعد تخزين المكملات مُشكلة؛ حيث يمكن إرسال الملفات الرقمية إلى أي مكان في العالم في غضون ثوانٍ، مما يقلل التكاليف الباهظة ويتيح بدء الإنتاج الفوري.
٧. خلق قدرًا أقل من النفايات، بالإضافة إلى أن المواد المستخدمة بشكل عام قابلة لإعادة التدوير.
٨. السماح بتجميع أجزاء المنتج كلاً على حده، مما يضمن مُنتجات ذات جودة أفضل.

### ٤,٢. عُيوب استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ مكملات المناظر والإكسسوار

كما هو الحال مع أي عملية أخرى، هناك أيضًا جانب سلبي لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد والتي يجب مراعاتها قبل اختيار استخدام هذه العملية:

١. مَحدودية المواد؛ حيث أن الاختيار المُتاح للمواد الخام ليس شاملاً.
٢. من المستحيل تقريبا طباعة الأحجار الكريمة أو الألماس.
٣. حجم النماذج المُقيّد المُقتصِر على غرف طباعة صغيرة تحد من حجم الأجزاء التي يمكن طباعتها، ولطباعة أي مُكمل أكبر يجب طباعته في شكل أجزاء منفصلة ثم إعادة ربطها معًا بعد الإنتاج.
٤. الأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد دائماً ما تحتاج إلى مُعالجة لاحقة وبالتالي تستغرق وقتًا طويلاً نسبياً.
٥. الانخفاض في العمالة في فريق المكملات؛ حيث أن معظم الإنتاج يتم تنفيذه بواسطة الطابعات.


حقوق النشر © ٢٠٢١ |المؤتمر DTAA21

## نتائج البحث

إن الطباعة ثلاثية الأبعاد تقنية حديثة قيد التطوير إلى حد كبير، من خلال الدراسة التحليلية للأفلام السينمائية التي استخدمت تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لتنفيذ مكملات المناظر والإكسسوار الخاصة بها، تم التوصل إلي:

١- تتيح الطباعة ثلاثية الأبعاد في عالم السينما إنشاء نماذج أولية أولاً أو طباعة عدة إصدارات مختلفة ومقارنتها مع بعضها البعض؛ مما يوفر قدرًا أكبر من المرونة، فإذا انكسر جزء أثناء التصوير يمكن طباعته مرة أخرى بسهولة وسرعة. وبالتالي يُمكن إنتاج مُكمِلات واقعية وفعالة من حيث التكلفة، بعد تصميمها مُسبقاً على أحد برامج الحاسب الآلي المتخصصة، وبذلك تخلق الطباعة ثلاثية الأبعاد عالماً جديداً بالكامل يقلل الفجوة بين السينما الواقعية والسطحية.

٢- بينما لا تزال طرق التصنيع التقليدية لمكملات المناظر والإكسسوار مُستخدمة، أتاحت التقنيات الرقمية، مثل: الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد والنمذجة ثلاثية الأبعاد والطباعة ثلاثية الأبعاد، لصانعي المُكملات إمكانيات تصميم إضافية تسمح بتحقيق التعقيدات في التصميمات بشكل أسرع وأدق من أي وقت مضى، وهو ما لا يمكن تحقيقه باستخدام طرق التصنيع التقليدية.

٣- عند استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الابعاد يجب الاختيار الدقيق لمواد الطباعة المُستخدمة لما لها تأثير مُباشر على المُنتج النهائي، وكذلك نوع التقنية.

٤- بفَضل استخدام مواد خفيفة الوزن وإنشاء تجاويف أثناء الطباعة، أصبح من الممكن إنشاء مكملات مناظر واكسسوار أخف بكثير لكنها مع ذلك قوية جدًا على الشاشة.

٥- يُفضل استخدام مادة البولي أميد البلاستيكية PA12 في تصميم الدعائم الملامسة للجلد بشكل مباشر، كمكملات الإكسسوار؛ فهي الأكثر أماناً للتلامس مع الجلد بشكل مباشر.

٦- بعض تطبيقات تقنية الطباعة ثلاثية الابعاد في مجال السينما لم تكن بالضرورة حقيقية أو كما تم عرضها على الشاشة؛ من حيث:

- سُرعة الطباعة.
- استخدام غير واقعي للمواد.
- اختيار غير صَحيح لتقنية الطباعة المُستخدمة مع المادة.
- نقص المُعالجة اللاحقة.

## التوصيات

في حين أن الطباعة ثلاثية الأبعاد جديدة نسبيًا في مجال صناعة السينما، فقد تم تجربة هذه التقنيات واختبارها بعدة طرق وأثبتت نجاحها بالفعل، لذا فإن الاحتمالات لا حصر لها. توصي الباحثة بضرورة الاهتمام بالنقاط التالية:

١- ضرورة نشر المعرفة فيما يخص التقنيات الحديثة وخاصة تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بين صناع السينما وصانعي المُكملات.

٢- توفير التدريبات والتعليم اللازم لبرامج التصميم ثلاثية الأبعاد، وكيفية استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد؛ للتوسع بشكل أكبر في استخدام التقنية في تنفيذ المُكملات الخاصة بالأفلام السينمائية.

٣- العمل على تعزيز نقاط القوة وإصلاح نقاط الضعف الخاصة بتنفيذ مُكملات الأفلام السينمائية باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

٤- المزيد من الدراسات التحليلية لأفلام سينمائية تم استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ الأزياء والديكور الخاص بها، وعدم الاقتصار على تنفيذ مكملات الاكسسوار والمناظر فقط.

## المراجع

### المراجع العربية

غادة حمدي المنجي خليل. (٢٠١٨). الاستفادة من اساليب بناء التكوين ثلاثي الابعاد كمدخل لإثراء التصميم. ١١٦-١١٧. المنصورة، مصر: كلية التربية النوعية- قسم التربية الفنية- جامعة المنصورة- رسالة ماجستير.

### المراجع الإنجليزية

Hart, E. (2013). The Prop Building Guidebook: For Theatre, Film, and TV (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780240823584

McMills, A.E. (2017). 3D Printing Basics for Entertainment Design (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315108698

### الدوريات والمجلات العلمية

Kamran, M., & Saxena, A. (2016). A Comprehensive Study on 3D Printing Technology. *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, 63-69.

عبد العزيز، حسان رشيد. (٢٠١٦). الطباعة ثلاثية الابعاد. المجله الدوليه للتعليم بالانترنت, ١٥(١), ٢٦٣-٢٧٤.

### المواقع الإلكترونية


حقوق النشر © ٢٠٢١ المؤتمر DTAA21

Griesinger, J. (2018). *MOVIE CREW JOB TITLES*. Retrieved from FILM IN COLORADO: https://www.filmincolorado.com/resources/job-descriptions/

team, A. (2021, August 5). *3D scanning technologies and the 3D scanning process*. Retrieved from aniwaa: https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/

Cash, J. (2020, August 31). *Symbolic Use of Props in Film*. Retrieved from THE DRAMA TEACHER: https://thedramateacher.com/symbolic-use-of-props-in-film/

Obudho, B. (2019, March 10). *3D Printing & Movies – When 3D Printers Steal the Spotlight*. Retrieved from all3dp: https://all3dp.com/2/3d-printing-movies-when-3d-printers-steal-the-spotlight/

Stevenson, M. (2019, March 12). *3D Printing & Movies – 3D Printing Behind the Scenes*. Retrieved from all3dp: https://all3dp.com/2/3d-printing-movies-3d-printing-behind-the-scenes/

Tess. (2017, November 13). *How 3D printing helped realize Hela's amazing headdress in 'Thor: Ragnarok'*. Retrieved from 3ders: https://www.3ders.org/articles/20171113-how-3d-printing-helped-create-helas-stunning-headdress-in-thor-ragnarok.html

Fernandez, J. (2017, November 12). The Making of Hela's Headdress from Thor: Ragnarok. (N. Chan, Interviewer): https://youtu.be/6VhU_T463sU

Howarth, D. (2019, February 27). *Black Panther's Oscar-winning costumes include 3D-printed designs*. Retrieved from dezeen: https://www.dezeen.com/2019/02/27/black-panther-best-costume-design-oscar-3d-printing/

Goehrke, S. A. (2018, June 11). *Ocean's 8 and Lingering Hollywood 3D Printing Hype*. Retrieved from 3dprint: https://3dprint.com/216335/oceans-8-3d-printing/

*Is 3D printing with Zirconia possible?* (2021, June 4). Retrieved from beamler: https://www.beamler.com/is-3d-printing-with-zirconia-possible/


حقوق النشر © ٢٠٢١ |المؤتمر DTAA21