International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
Vol. (4), No. (6) June 2025 الإصدار (4)، العدد (6)

الطباعة ثلاثية الأبعاد كمحرك للابتكار نحو سينوغرافيا مبتكرة لرؤى جديدة للفنون الحية

محمد أمين داود*، خديجة البكاي الهواري، كمال الركلاوي
كلية العلوم والتقنيات بطنجة، جامعة عبد المالك السعدي، المغرب
*mddaoudd@gmail.com

ملخص

تُعد الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة تقنية مؤثرة في الصناعات المتعددة، وخاصةً في مجال الفنون الحية والسينوغرافيا. هذه التقنية، التي تمكن من إنتاج أشكال معقدة وتصاميم مخصصة بكفاءة وفعالية، تفتح آفاقًا جديدة للإبداع في الصناعة الثقافية والفنية. تشكل الطباعة ثلاثية الأبعاد جزءً لا يتجزأ من الثورة الصناعية الرابعة، موفرةً إمكانيات لم يسبق لها مثيل في تجسيد الأفكار الإبداعية إلى واقع ملموس.

في هذا السياق، يسلط المقال الضوء على كيفية استفادة الصناعة المسرحية، وتحديدًا مجال السينوغرافيا، من هذه التقنية الرائدة. من خلال تمكين إنتاج الديكورات المسرحية، الأزياء بطرق جديدة ومبتكرة، تساهم الطباعة ثلاثية الأبعاد في تعزيز الأداء المسرحي وتجربة المشاهدة، مما يعيد تعريف مفهوم العرض المسرحي ويعزز من التفاعل مع الجمهور.

تتضمن المقالة أيضًا جزءً تطبيقيًا يشمل بحثًا ميدانيًا عبر استبيان تم توزيعه على فنانين يعملون في الصناعة الثقافية بالعالم العربي، لتقييم تأثيرات وإمكانيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في الفنون الحية. ويبرز البحث الاهتمام المتزايد بتطوير وتحسين مفاهيم الديكور والعناصر السينوغرافية باستخدام هذه التقنية. بالإضافة إلى ذلك، يستكشف البحث استخدام الذكاء الاصطناعي في محاكاة تصاميم السينوغرافيا، مما يؤكد على الدور الثوري للطباعة ثلاثية الأبعاد في تحقيق تصاميم مبتكرة وفريدة.

بشكل عام، يهدف المقال إلى تسليط الضوء على كيفية استفادة السينوغرافيا من التقنيات الحديثة، مؤكدًا على أن الطباعة ثلاثية الأبعاد لا تمثل فقط قفزة نوعية في هذا المجال، بل تُعد أيضًا دافعًا قويًا للابتكار والإبداع في عالم الفنون الحية. من خلال الجمع بين التحليل النظري والبحث التطبيقي، يقدم المقال رؤية شاملة حول التأثير الذي تحمله الطباعة ثلاثية الأبعاد للمسرح والسينوغرافيا، مما يمهد الطريق لرؤية مستقبلية جديدة في هذا الميدان. إن النتائج المستخلصة من الاستبيان والتجارب العملية تعزز الفهم حول كيفية استثمار هذه التقنية لتحقيق إنتاجات فنية متقدمة ومتجددة، مما يشير إلى اتجاه مستقبلي نحو دمج التكنولوجيا المتطورة في الفنون الحية بصورة أكثر فعالية وإبداعًا.

الكلمات المفتاحية: الطباعة ثلاثية الأبعاد، التصنيع الإضافي، السينوغرافيا، الفنون الحية، التعبير الفني الجديد.

International Journal for Scientific Research (IJSR)

المجلة الدولية للبحوث العلمية

Vol. (4), No. (6) June 2025 الإصدار (4)، العدد (6)

3D Printing as a Driver of Innovation towards Innovative Scenography for New Visions of Live Art

Mohamed Amin Daoud*, Khadija Elbakay Elhouari, Kamal Elraklawi
Faculty of Sciences and Technology of Tangier, Abdelmalek Essaadi University, Morocco
*mddaoudd@gmail.com

Abstract

3D printing is revolutionizing the cultural and artistic landscapes, notably impacting live arts and scenography by enabling the crafting of complex and tailored designs with unparalleled efficiency. This technology, pivotal to the fourth industrial revolution, transforms imaginative concepts into tangible reality, fostering new pathways for creative exploration.

This article investigates 3D printing's profound influence on the theatrical domain, particularly in scenography. It facilitates the creation of groundbreaking decorations and costumes, thus elevating the performance experience and deepening audience engagement. Through a survey conducted among artists in the Arab cultural sector, the study evaluates the contributions of 3D printing to live arts. The findings spotlight the technology's effectiveness in enhancing scenographic elements and underscore the vital role of artificial intelligence in generating unique scenographic designs.

Positioning 3D printing as a significant innovation in scenography and a catalyst for creativity in live arts, the article anticipates a future where advanced technology is seamlessly woven into artistic practices. The insights gleaned from the survey and hands-on experiments underscore 3D printing's potential to foster novel artistic expressions, indicating a movement towards an innovative and efficient integration of technology within live arts.

Keywords: 3D Printing, Additive Manufacturing, Scenography, Live Arts, New Artistic Expression.

مقدمة

تشهد الصناعة الثقافية والفنية تحولًا هامًا نحو التكنولوجيا لتحسين الأداء وتعزيز التفاعل مع الجمهور في عالم يتسم بالتطور التكنولوجي المستمر، حيث ظهرت الطباعة ثلاثية الأبعاد كإحدى الثورات التقنية إذ تعتبر أحد الركائز الأساسية في إطار الصناعة الرابعة، حيث تلعب دورًا بارزًا في تطوير العديد من جوانب الحياة. يعزى دور هذه التقنية إلى إمكانيتها في محاكاة وتجسيد نماذج ثلاثية الأبعاد والمجسمات، مما يتيح إنشاء نسخ دقيقة في الواقع. وليس هذا وحسب، بل توفر الطباعة ثلاثية الأبعاد إمكانيات فريدة، بما في ذلك إمكانية طباعة أشكال غير تقليدية بمقاييس غير محدودة والتي لا يقتصر تأثيرها على الصناعة والطب فحسب، بل امتد ليشمل عالم الفنون الحية بطرق لم يكن يتخيلها أحد. في هذا السياق، تأتي الصناعة المسرحية وبالأخص السينوغرافيا كميدان خصب لاستكشاف إمكانيات هذه التقنية الفريدة، مما يفتح آفاقًا جديدة للإبداع والابتكار. الطباعة ثلاثية الأبعاد، بقدرتها على تحويل الأفكار الإبداعية إلى واقع ملموس بدقة وسرعة غير مسبوقتين، قد أثرت بشكل جوهري على مفهوم التصميم والإنتاج في الفنون الحية. فضلًا عن تيسير محاكاة النماذج في بيئة افتراضية، وبفضل قدرتها على إبداع هياكل معقدة وتفاصيل دقيقة، تقوم هذه التقنية بتسريع عمليات التصميم والابتكار، مما يساهم في تحسين الكفاءة وتقليل التكاليف في عمليات التصنيع.

وفي هذا الصدد الطباعة ثلاثية الأبعاد، المعروف أيضًا باسم التصنيع الإضافي، هو تقنية لتصنيع الأشياء عن طريق إضافة المواد في طبقات باستخدام بيانات من نموذج ثلاثي الأبعاد بمساعدة الكمبيوتر، على عكس عمليات التصنيع الطرحية التقليدية (Moylan et al. 2014) (Daoud et al., 2023). تتمتع هذه التقنيات بالعديد من المزايا، بما في ذلك القدرة على تصنيع أشكال هندسية معقدة مع الحد الأدنى من هدر المواد، ومجموعة واسعة من أحجام الأجزاء، وخيارات المواد التي تتراوح (Rupal، Ahmad، et Qureshi 2018). في العقود الأخيرة، شهدت تقنية التصنيع الإضافي نموًا سريعًا وتم استخدامها في العديد من المجالات مثل الطب والسيارات والفضاء والهندسة الحيوية وغيرها من الصناعات. تم تطوير العديد من العمليات القائمة على مبادئ مختلفة (البثق، والصهر، والبلمرة الضوئية، والتلبيد... إلخ) مع الاستفادة من إمكانية العمل مع مجموعة واسعة من المواد بدقة عالية ولأشكال هندسية معقدة (Rebaioli et Fassi 2017).

من خلال توظيف الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج الديكورات المسرحية، الأزياء، وحتى الآلات الموسيقية المخصصة، تمكن الفنانون والمصممون من تجاوز الحدود التقليدية للمواد والتقنيات، مما أتاح لهم الفرصة لإعادة تعريف مفهوم العرض المسرحي. يعتبر تصميم السينوغرافيا، الذي يركز على خلق بيئات مرئية غامرة تعزز الأداء الحي، مثالًا رئيسيًا على كيفية استفادة الفنون المسرحية من هذه التقنية الثورية.

إضافة إلى ذلك، أدى استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم الأزياء إلى إحداث ثورة في مفهوم الأزياء المسرحية، حيث تمكن المصممون من ابتكار ملابس ذات تفاصيل وأشكال غير تقليدية تعزز من التعبير الفني والرؤية الإخراجية.

هذا المقال يهدف إلى استكشاف الطرق التي بواسطتها تعيد الطباعة ثلاثية الأبعاد تشكيل مشهد الفنون الحية، بالتركيز على الصناعة المسرحية والسينوغرافيا بشكل خاص. من خلال تحليل أمثلة حية ودراسة تأثير هذه التقنية على الإبداع والإنتاجية، يمكننا فهم الأبعاد الجديدة التي تفتحها الطباعة ثلاثية الأبعاد في عالم الفنون الحية. ومن خلال استعراض هذه الجوانب، نأمل في تسليط الضوء على كيفية استفادة مجال السينوغرافيا من التقنيات الحديثة وكيف يمكن للطباعة ثلاثية الأبعاد أن تمثل قفزة نوعية في هذا السياق.

أهمية البحث

تكمن أهمية البحث في دراسة الدور الحاسم للطباعة ثلاثية الأبعاد في تعزيز الابتكار والإبداع داخل الصناعة الثقافية والفنية، ومدى استفادة الفنانين من هذه الثورة الصناعية خاصةً في المسرح والسينوغرافيا. إذ يتيح توظيف هذه التقنية إمكانيات جديدة للفنانين والمصممين لتجاوز القيود المادية والتقليدية، مما يفتح آفاقًا جديدة للتعبير الفني مما يرتقي بتجربة المشاهدة إلى مستويات جديدة.

تقليل التكاليف وزيادة الكفاءة: يستكشف البحث كيف تساهم الطباعة ثلاثية الأبعاد في تقليل التكاليف وزيادة كفاءة عمليات الإنتاج المسرحي، مما يمكن الفرق الفنية من تحقيق رؤاهم بميزانيات محدودة.

مشكلة البحث

تكمن إشكالية البحث في نقص الاستفادة من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في الصناعة الفنية لتصميم سينوغرافيا مسرحية بديلة لتلك المصنوعة بالمواد التقليدية، مما يفتح المجال للتجارب والتصاميم الجديدة. وفتح الباب لتقييم الفوائد مقابل التحديات بينما تقدم فوائد عديدة للفنون الحية والسينوغرافيا، تظل هناك تحديات متعلقة بالتكاليف، التعليم والتدريب، والوصول إلى التكنولوجيا. وكيف يمكن للمجتمع الفني التغلب على هذه التحديات لتحقيق الاستفادة القصوى من هذه التقنية؟

استكشاف الإمكانيات وتحديد الحدود: ما هي الإمكانيات الحقيقية للطباعة ثلاثية الأبعاد في تحويل السينوغرافيا والإنتاج المسرحي؟ وما هي حدود هذه التقنية عند تطبيقها في مجال الفنون الحية؟

الهدف من البحث هو ليس فقط إبراز الفوائد والإمكانيات التي تقدمها الطباعة ثلاثية الأبعاد للفنون الحية والسينوغرافيا، بل أيضًا فهم التحديات والتقييم النقدي لكيفية دمج هذه التقنية بشكل فعّال في العمليات الفنية والثقافية.

أهداف البحث

يهدف البحث إلى تقديم فهم شامل للفرص والتحديات التي تقدمها الطباعة ثلاثية الأبعاد في سياق الفنون الحية، بالإضافة إلى استكشاف آفاق جديدة للإبداع والإنتاج في السينوغرافيا. وكيفية استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج ديكورات مسرحية، أزياء بتفاصيل وأشكال غير تقليدية تعزز من التعبير الفني.

وكذا فحص التحديات التي تواجه تطبيق الطباعة ثلاثية الأبعاد في المجال المسرحي، بما في ذلك العوائق التقنية، التكاليف، والحاجة إلى المهارات والتدريب المتخصص. ومدى تأثير هذه التقنيات على تقليل الزمن والتكلفة المتعلقين بالإنتاج المسرحي وتحسين الكفاءة الإنتاجية. والنظر في كيفية استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لتعزيز التجربة المسرحية للجمهور من خلال تقديم عناصر بصرية مبتكرة وغامرة.

منهج البحث

في إطار دراستنا لتأثير التصنيع الإضافي على الفنون الأدائية وتصميم السينوغرافيا، نتبع منهجية بحثية مركبة تجمع بين التحليل الوصفي، الاستقصائي، لتقديم نظرة شمولية على هذا الحقل. المنهج الوصفي يُستخدم لتوثيق الاستخدام الفعلي لهذه التقنية المبتكرة في الإنتاجات المسرحية وأثرها على العمليات الإبداعية والتصنيعية. من خلال الاستعانة بالتحليل الاستقصائي، نقوم بتجميع وتحليل البيانات المستقاة من استبيانات ومقابلات لاستقصاء آراء المشاركين في الصناعة وتجاربهم في القطاع لاستخلاص تصوراتهم وتجاربهم المتعلقة بالطباعة ثلاثية الأبعاد. لتقييم العلاقات السببية بين استخدام التقنيات الإضافية ومتغيرات مثل الفعالية الإنتاجية، التكلفة، والجودة. تتيح لنا هذه المنهجية المتكاملة تقديم تحليل دقيق ومفصل للمزايا والتحديات المرتبطة بإدماج التصنيع الإضافي في مجال الفنون الأدائية.

حدود البحث

التركيز على دور الطباعة ثلاثية الأبعاد وخدمتها لصناعة المسرحية وتصميم السينوغرافيا بشكل خاص ودراسة التعليم والتدريب، والوصول إلى التكنولوجيا في العالم العربي. وكيف يمكن للمجتمع الفني العربي التغلب على هذه التحديات لتحقيق الاستفادة القصوى من هذه التقنية.

الفئة المستهدفة

الفئات المستهدفة بنتائج البحث هي تلك التي يمكن أن تستفيد مباشرة من التطبيقات والتحليلات التي يقدمها، وتشمل:

- **الفنانين والمصممين المسرحيين:** أولئك الذين يعملون في تصميم الديكور، الأزياء، والأدوات المسرحية ويسعون لتوسيع حدود عملهم الإبداعي.
- **المنتجين ومديري المسارح:** الأشخاص المسؤولون عن تمويل وإدارة الإنتاجات المسرحية والذين يبحثون عن طرق لتحسين الكفاءة وتقليل التكاليف.
- **الباحثين والأكاديميين في مجال الفنون الأدائية:** الذين يدرسون التقاطع بين التكنولوجيا والفن ويسعون لفهم التأثيرات الثقافية والابتكارية للطباعة ثلاثية الأبعاد.
- **الطلاب والمتدربون في مجالات الفنون الحية والتصميم:** الأفراد الذين يسعون لتوسيع معارفهم ومهاراتهم في مجال الفنون الأدائية والتصميم باستخدام تقنيات جديدة.
- **صانعو السياسات والجهات الداعمة للفنون:** المؤسسات والأفراد المسؤولون عن تشجيع ودعم الابتكار في الفنون، والذين يمكن أن يستفيدوا من فهم الفوائد والتحديات المرتبطة بتبني تقنيات مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد.

الإطار النظري للبحث

مفهوم السينوغرافيا:

السينوغرافيا، المعروفة أيضاً بفن تصميم الإنتاج، هي ممارسة إبداعية تعنى بتصور وتنفيذ البيئة المرئية للعمل الفني. تشمل هذه العملية تصميم الديكور، الإضاءة، الأزياء، وأحياناً اختيار الموسيقى والمؤثرات الصوتية، مع الهدف الأساسي من تعزيز الرسالة الفنية والجمالية للعمل. السينوغرافيا لا تقتصر فقط على خلق الجو الملائم للعرض، بل تسعى إلى تحقيق التكامل بين المكونات البصرية والسردية، مما يمكنها من توجيه تفاعل الجمهور وتجربتهم العاطفية والذهنية تجاه العمل. الهدف من السينوغرافيا ليس فقط خلق مكان مادي يمكن للممثلين التفاعل فيه، ولكن أيضًا إثراء النص الدرامي وتعميق فهم الجمهور للقصة المسرحية من خلال العناصر البصرية والمرئية. في السياق الأكاديمي والمهني، تتطلب السينوغرافيا فهمًا عميقًا لنظريات الفن والتصميم، بالإضافة إلى معرفة تقنية بأدوات الإنتاج وتقنياته، وذلك لضمان تحقيق التواصل الفعال بين العمل الفني وجمهوره.

مفهوم الطباعة ثلاثية الأبعاد:

المعروف أيضاً بالتصنيع الإضافي، يُعرّف بأنه طائفة من الإجراءات التكنولوجية المتقدمة المستخدمة لتشكيل أجسام ثلاثية الأبعاد من خلال ترسيب المواد بطريقة طبقية متتالية استنادًا إلى نماذج رقمية دقيقة. هذا النهج يختلف جذريًا عن أساليب التصنيع التقليدية التي تعتمد بالأساس على إزالة الجزء الزائد من المادة للحصول على الشكل المطلوب. التصنيع الإضافي يبرز بفضل قدرته الفائقة على تحقيق تصاميم معقدة بمستويات عالية من الدقة والتخصيص، مع إمكانية تقليل التكاليف والزمن اللازم للإنتاج بشكل ملحوظ، مما يجعله خيارًا مثاليًا لإنتاج النماذج الأولية، القطع المصممة خصيصًا، والسلاسل الإنتاجية قصيرة النطاق. (Daoud et al., 2025)

شكل (1): مراحل الإنتاج باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد: من التصميم إلى التنفيذ

أنواع الطابعات ثلاثية الأبعاد (محمد شوقي 2016):

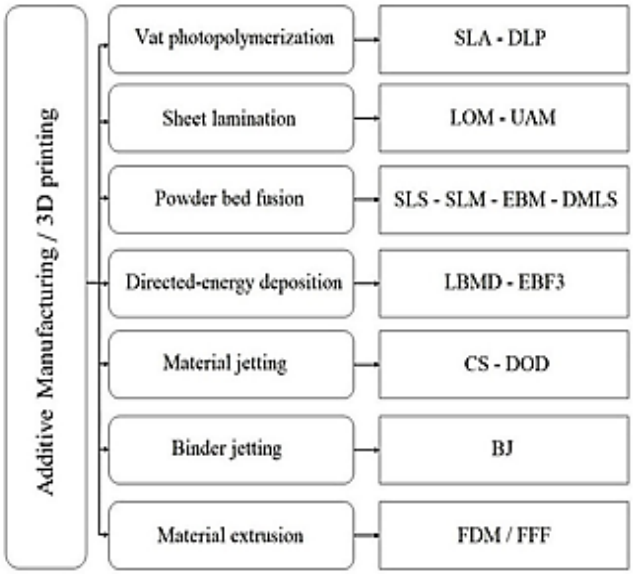
- طابعات الليزر تعمل على تقنيات SLS, SLM
- طابعات الثيرموبلاستيك أو البناء بالترسيب المنصهر (FDM) وهي الأكثر انتشاراً.
- طابعات ضوئية تعمل على تقنيات SLA, DLP.

أهم تقنيات الطابعات ثلاثية الأبعاد:

- نمذجة الإيداع المنصهر (FDM): تُعتبر تقنية FDM من الطرق الأساسية في الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث تعمل على تسخين وإذابة خيوط بلاستيكية تُطبق طبقة بطبقة لبناء الجسم الثلاثي الأبعاد. تتميز بسهولة الاستخدام وتكلفتها المعقولة، مما يجعلها مثالية للتطبيقات التعليمية والنماذج الأولية.

- التصليب بالضوء الستيريوليثوغرافي (SLA): تستخدم تقنية SLA الضوء فوق البنفسجي لتصليب راتنجات سائلة طبقة تلو الأخرى. توفر هذه الطريقة دقة عالية وتفاصيل ممتازة للأجزاء المنتجة، مما يجعلها مفضلة في تطبيقات التصميم الدقيق والمجوهرات.
- التلبيد بالليزر الانتقائي (SLS): تقنية SLS تعمل بتسخين وتلبيد مساحيق بلاستيكية أو معدنية باستخدام ليزر، مكونةً النموذج طبقة بطبقة. هذه التقنية تُستخدم عادةً في التطبيقات الصناعية لإنتاج قطع متينة ووظيفية بمقاومة عالية.
- المعالجة الرقمية للضوء (DLP): تشبه تقنية DLP تقنية SLA في استخدام الضوء لتصليب الراتنج، ولكنها تستخدم مصادر ضوء مختلفة مثل الـ .LED تعرف DLP بسرعتها في الطباعة مقارنةً بـSLA ، مما يجعلها ملائمة لإنتاج النماذج بكفاءة زمنية عالية.
- الطباعة بالنفث المادي (MJ): تستخدم هذه التقنية رش مواد (غالبًا واكس أو بلاستيك) من خلال فوهات دقيقة لتشكيل النموذج MJ مفيدة لإنتاج نماذج بتفاصيل عالية ومواد داعمة قابلة للذوبان.
- الصهر الإلكتروني للحزمة (EBM): تعمل تقنية EBM في بيئة فراغية باستخدام حزمة إلكترونية لتلبيد مسحوق المعدن، مما يسمح بإنتاج قطع معدنية متينة ودقيقة. تُستخدم بشكل رئيسي في صناعات الطيران والفضاء.
- التصنيع بالطبقات المغلفة (LOM): تستخدم تقنية LOM أوراقًا من المواد (كالورق أو المعدن) المغلفة بلاصق، يتم قطعها وترصيصها لتشكيل الجسم LOM مثالية لإنتاج نماذج بحجم كبير بتكلفة منخفضة.
- الانصهار الانتقائي بالليزر على سرير مسحوق معدني (LBM): تقنيةLBM (Laser Beam Melting) تعتمد على انصهار طبقات من مسحوق معدني باستخدام شعاع ليزر عالي الطاقة بشكل انتقائي لإنشاء الأجزاء الهندسية طبقة بطبقة. تُستخدم هذه التقنية لإنتاج قطع معدنية عالية الدقة والتعقيد في مجالات مثل الطيران، الطب، والصناعة، مع القدرة على تصنيع أشكال معقدة لا يمكن تحقيقها بالتصنيع التقليدي (Daoud et al., 2024).

كل تقنية من هذه التقنيات توفر مزايا فريدة تتناسب مع تطبيقات محددة، مما يوسع نطاق الإمكانيات في الطباعة ثلاثية الأبعاد ويدعم الابتكار في مجموعة متنوعة من المجالات وتم إنشاء المعيار ISO/ASTM 52900 في عام 2015 لتصنيف وتعريف الطرق المتنوعة المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث يقوم بتقسيم عمليات الطباعة إلى سبع فئات أساسية.



Standard classification of AM technologies based on ISO/ASTM 52900:15 [23].

شكل (2): تصنيفات معيارية لتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد حسب المعايير الدولية ISO/ASTM

مميزات التصنيع الإضافي:

- **التخصيص العالي:** يسمح التصنيع الإضافي بإنتاج أجزاء ومكونات مخصصة بسهولة دون الحاجة إلى أدوات أو قوالب إضافية، مما يجعله مثاليًا للنماذج الأولية والإنتاج الصغير.
- **التعقيد بدون تكلفة إضافية:** يمكن للطباعة ثلاثية الأبعاد إنتاج هياكل معقدة بنفس سهولة وتكلفة إنتاج الأجزاء البسيطة، مما يتيح فرصًا لتصميمات مبتكرة لم تكن ممكنة بالطرق التقليدية.
- **تقليل النفايات:** التصنيع الإضافي يعتمد على إضافة المواد بدقة حيثما كانت ضرورية، مما يقلل من النفايات المادية مقارنةً بطرق التصنيع التقليدية التي تستلزم قطع المادة.
- **تسريع عملية الإنتاج:** يمكن للطباعة ثلاثية الأبعاد أن تقلل بشكل كبير من الزمن اللازم لتطوير المنتج من المفهوم إلى النموذج الأولي وحتى الإنتاج، مما يعزز الابتكار ويسرع من طرح المنتجات في السوق.
- **تحسين الأداء:** يمكن تحسين أداء المنتجات من خلال تصميمات معقدة محسنة تُنتج عبر الطباعة ثلاثية الأبعاد، مثل الهياكل الخفيفة الوزن ذات القوة العالية.

إشكاليات التصنيع الإضافي:

- **التكلفة:** على الرغم من تقليل التكاليف الإجمالية، قد تظل تكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد مرتفعة للإنتاج بكميات كبيرة مقارنةً بالتقنيات التقليدية.
- **حجم الإنتاج والسرعة:** تقتصر الطباعة ثلاثية الأبعاد على حجم بناء محدود وقد تكون أبطأ من طرق التصنيع التقليدية للإنتاج بكميات كبيرة.
- **جودة السطح والدقة:** في بعض الأحيان، قد تتطلب الأجزاء المطبوعة معالجة سطحية إضافية لتحسين نوعية السطح أو لتحقيق التسامحات الدقيقة المطلوبة (م أ داود، وآخرون، 2024).
- **قضايا الملكية الفكرية:** يمكن أن تؤدي سهولة نسخ وتوزيع الملفات الرقمية للمنتجات المصممة للطباعة ثلاثية الأبعاد إلى تحديات تتعلق بحماية الملكية الفكرية.

أزياء صُنعت باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

في عالم الأزياء، تُظهر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد إمكانيات لا حدود لها، كما هو الحال في عرض المدرج الروسي الذي عرض بعضًا من أبرز الأزياء المطبوعة ثلاثية الأبعاد عالميًا. من بين الأمثلة البارزة، تقف قطعة "التبلور" التي قدمتها المصممة الهولندية إيريس فان هيربن في عام 2011، كنموذج أولي متكامل تم إنتاجه بالتعاون مع المهندس المعماري اللندني دانييل ويدريج، باستخدام تقنية التلبيد بالليزر الانتقائي. وفي عرض أزياء ربيع وصيف 2018، أبرزت فان هيربن مجددًا قدرات الطباعة ثلاثية الأبعاد بفستان زُين بزخارف مطبوعة باستخدام تقنية PolyJet، التي تُعرف بقدرتها على إنشاء قطع راتنجية عالية الجودة بأسطح ناعمة، وأخيراً يمكن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لصنع زخارف للمنسوجات التقليدية، مما يقترب من فكرة "الجوهرة" للملابس، تمامًا مثل الملابس المطبوعة ثلاثية الأبعاد التي طورتها الشابة أنستازيا رويز بالتعاون مع Sculpteo؛ عناصر الملابس (الأزرار، الخواتم...) أو حتى المنتجات الجلدية، هنا، يتم استخدام مادة الطباعة ثلاثية الأبعاد TPU (البولي يوريثين الحراري) والبوليمرات الأخرى مثل البولي أميد بشكل أساسي. هذه الأعمال تعكس تطور الأزياء بفضل الطباعة ثلاثية الأبعاد، موضحةً كيف يمكن لهذه التقنية دفع حدود الإبداع في تصميم الأزياء.

شكل (3): عرض المدرج الروسي: أبرز الأزياء المطبوعة ثلاثية الأبعاد

شكل (4): شوهاجا /فستان بانجولين، ثرياسفور

وبعيدًا عن المواد البلاستيكية الناعمة نسبيًا، تعمل الشركات على تطوير طابعات النسيج. وهذا هو حال شركة Tamicare، التي لا يتوفر عنها إلا القليل من المعلومات؛ والمتأخر إلكترولوم. أطلقت الشركة الناشئة، التي تأسست في عام 2013، نسخة تجريبية من طابعة النسيج الخاصة بها (على موقع Kickstarter)، والتي قامت برش محلول النايلون على قالب معدني، حيث يمكن بعد ذلك تجميع الألياف معًا. وعلى الرغم من إمكانات التكنولوجيا، فإن «الأقمشة» المطبوعة لا تدوم طويلاً، ولم تكن قابلة للغسل مما أدى الى انسحاب العلامات التجارية واحدًا تلو الآخر من المشروع. في الوقت نفسه، يعكف باحثون من معاهد بحثية بارزة مثل معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا وكلية الفنون السينمائية بجامعة جنوب كاليفورنيا على تطوير مواد مرنة جديدة مناسبة للطباعة ثلاثية الأبعاد. وتعمل ناسا أيضًا على ذلك، من خلال مشروع طباعة معطف شبكي ثلاثي الأبعاد لرواد الفضاء.

تصاميم لسينوغرافيا استفادة من استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد:

أبان عدد من الفنانين والأكاديميين عن شغفهم بالطباعة ثلاثية الأبعاد وما يمكن أن تقدمه للصناعة الفنية وخصوصاً الفنون الحية. وهناك العديد من الفنانين الذين بزغ أسمائهم من خلال اشتغالهم على هذه التقنيات ومن بين أبرز هذه الأسماء: فارا ديفالو، جوزها هاركر، ديزنك أوف، جسيكا روسن كرانتز، نايك أيرفينك، ليونيل ديان، وتلك التجارب الفنية، على الرغم من قلتها، إلا أنها تسلط الضوء على مختبر رائد سيمكننا من إحداث ثورة في مجال الصناعة الفنية وتوفير الفرصة للفنانين لتجسيد رؤاهم بدقة أكبر وإضافة جاذبية استثنائية إلى العروض. ومن أبرز هذه التجارب:

إيريس فان هيربن مع حسين شاليان، متحالفًا مع فرقة الباليه الوطنية الهولندية وراقصة جينغ جينغ ماو. عملاً على أحد الأمثلة البارزة على استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في المسرح، حيث قامت بإنتاج أحذية باليه مطبوعة ثلاثيًا تم تصميمها لتوفير دعم أفضل ومرونة للراقصين.

مصمماً المناظر الطبيعية في برودواي كاسي هولتغرين وجون لي بيتي لإنتاج Outside Mullingar، تمكن Hultgren من إنشاء أقسام كبيرة من مجموعات كاملة من الأثاث. الطابعات المكتبية المستخدمة في عروض برودواي كبيرة الحجم، وقادرة على طباعة وحدات تصويرية كاملة على نطاق واسع. تم استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء مجموعات من المنتجات مثل إنتاجات شركة Roundabout Theatre Company لعام 2012 مثل Don't Dress for Dinner، و The Nance، وOrphans، وThe Snow Geese.

إنتاج جامعة بايلور لفيلم Into the Woods، استخدم الفريق طابعة ثلاثية الأبعاد لتصنيع الفاصوليا الاصطناعية والفطر وغير ذلك الكثير. وباستخدام برنامج الطباعة ثلاثية الأبعاد، تمكن الأستاذ المساعد للفنون المسرحية، جو كوتشارسكي، من سحب "كرة من الطين" الرقمية وتسويتها وضغطها إلى الشكل المطلوب -عشرين حبة فاصوليا وعشرات فطر لفستان الساحرة.

إنتاج الكلية الملكية للفنون لفيلم Farewell My Concubine، حيث قام الممثلون بارتداء أزياء ذات ثنيات فريدة ثم إنشائها بطابعة ثلاثية الأبعاد لتلبيد الليزر الانتقائي (SLS).

جامعة بنسلفانيا، قام إريك باراتا، المحاضر السابق للفنون المسرحية، بدمج الطباعة ثلاثية الأبعاد في الدورات التدريبية. تم تكليف الطلاب بإلقاء نظرة على المشهد الأول من مسرحية شكسبير هاملت، وتحديداً عناصر التصميم (الخط، البعد، الحركة، الضوء، اللون، والملمس) والتركيب (الوحدة، الانسجام، التباين، الاختلاف، التوازن، التناسب، التركيز، والتباين). (الإيقاع /الحركة) لبناء مشاهد افتراضية. ثم أنهى الطلاب تصميماتهم وقاموا بتحسينها للطباعة ثلاثية الأبعاد. وقد انتقلت بساطة تصميمات الطلاب بأناقة إلى النموذج المادي، وكانت جميع المشاريع ناجحة للغاية.

الأكاديمية الوطنية للفنون المسرحية في كلية ترينيتي في دبلن دورات توفر تجارب فريدة قائمة على الممارسة لطلابها. لدى الأكاديمية شراكة مع Craftbot، وهي علامة تجارية لتكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد.

لكن يبقى أبرز هده التجارب وأكثرها تكاملًا وهي أول مجموعة مطبوعة بالكامل بتقنية ثلاثية الأبعاد كانت لـ Fra Diavolo، وهو عرض على خشبة المسرح في مسرح الأوبرا في روما، إيطاليا في 8 أكتوبر 2017. تم إنشاء المجموعة بواسطة WASP، وهي شركة طباعة ثلاثية الأبعاد في روما، واستغرق إكمالها

حوالي 3 أشهر. وتم تصنيعه باستخدام مواد أرخص من تلك المستخدمة عادة في الطباعة ثلاثية الأبعاد، وإجمالي خمس طابعات. لبدء العملية، أعطى مصمم السينوغرافيا WASP نموذجًا مطبوعًا ثلاثي الأبعاد للمباني التاريخية المشوهة مقسمًا إلى 223 قطعة. تم بعد ذلك استخدام هذا النموذج الأولي لإنشاء نموذج بالحجم الطبيعي يمكن استخدامه في مجموعة العرض.

شكل (5): الراقصة جينغجينغ ماو بفستان إيريس فان هيرين، 2020

شكل (6): صورة من عرض لفارا ديفالو في مسرح الأوبرا في روما، 2017

الإطار التطبيقي للبحث

تضمن الإطار التطبيقي جانبين أساسين هما:

- أولًا: القيام بإجراء بحث ميداني عبارة عن استبيان.
- ثانيًا: محاكاة تصاميم السينوغرافيا للعروض المسرحية الحية باستخدام الذكاء الاصطناعي: استكشاف أزياء وديكورات من خلال تحليل قدرات التصنيع الإضافي.

أولًا: بحث ميداني:

قمنا بتصميم استبيان استطلاعي متخصص لـ 30 فنان يشتغلون في الصناعة الثقافية تلقوا تكوينهم أو يشتغلون في العالم العربي لتقييم التأثيرات والإمكانيات التي توفرها تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال الفنون الحية، خصوصًا فيما يتعلق بتطوير وتحسين مفاهيم وتنفيذ الديكور والعناصر السينوغرافية في المسرح. هذا الاستبيان كان موجهًا بشكل خاص إلى السينوغرافيين المحترفين، المهنيين، والأكاديميين النشطين في هذا المجال، لجمع بيانات دقيقة وموثوقة تعكس خبراتهم وتقييماتهم. تضمن الاستبيان مجموعة متنوعة من الأسئلة المغلقة، التي صُممت لتوفير إجابات محددة تساهم في تحليل شامل وموضوعي لتأثيرات هذه التقنيات على الإنتاج المسرحي، من حيث التكوين، التصميم، الابتكار، والفعالية الإنتاجية.

جدول (1): نتائج البحث

م	المحور	مهم جداً	مهم	غير هام
1	ما تقييمك لأهمية استخدام التكنولوجيا لتسهيل اختيار المواد وتوجيه عملية التصميم؟	56%	41%	3%
2	ما تقييمك لأهمية استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في تطوير وتجديد السينوغرافية؟	63%	35%	2%
3	ما مدى أهمية العمل على خلق دورات أو ورش عمل تعلم فيها كيفية استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في السينوغرافيا؟	82%	12%	6%
4	ما أهمية استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد تحسين مهارات السينوغراف ومهندس الديكور؟	66%	32%	2%
5	ما تقييمك لأهمية استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم أو تنفيذ العناصر السينوغرافية؟	59%	27%	14%
6	ما تقيمك لمدى إسهام التكنولوجيا عموماً والطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل خاص في تحسين استخدام الموارد وتحقيق التكامل في التصميمات؟	50%	44%	6%
7	ما مدى إسهام الطباعة ثلاثية الأبعاد في تخصيص التصميم وتحسين التفاصيل؟	59%	30%	11%
8	كيف ترى أهمية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تحقيق تصميمات مبتكرة وفريدة تعبر عن رؤية الفنية؟	56%	38%	6%
9	ما مدى إسهام التقنية في تحقيق تفاصيل دقيقة وتخصيص فريد للديكور؟	63%	34%	3%
10	ما مدى أهمية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تخصيص التصميم وتحسين التفاصيل؟	62%	33%	5%
11	ما مدى تلبية هذه التقنيات للطموحات الفنية والإبداعية في عالم المسرح والفنون الحية؟	59%	35%	6%
12	ما مدى أهمية استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال السينوغراف في المستقبل؟	70%	18%	12%
13	هل تعتقد أن هذه التقنيات ستلعب دورًا أكبر في تحسين وتحويل مظاهر السينوغراف في المستقبل؟	82%	9%	9%
14	هل تعتبر أن السينوغرافيا بتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد هي مجال مستقبلي يستحق الاستثمار فيه؟	91%	9%	-
15	هل تكون مستعدًا لتحسين مهاراتك في استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لتعزيز عملك السينوغرافي؟	83%	9%	8%

قراءة في نتائج البحث ميداني:

أظهرت نتائج الاستطلاع على أن السينوغرافيا بتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد هي مجال مستقبلي يستحق الاستثمار فيه. إذ تُظهر تقديرًا واضحًا لأهمية تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال السينوغرافيا والفنون الحية، مع تأكيد على الدور الكبير الذي تلعبه هذه التقنيات توجيه عملية التصميم. حيث أفاد 97% من المشاركين بأهمية استخدام التكنولوجيا في هذا السياق، بينما رأى 98% منهم أهمية كبيرة لتطبيق تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في تطوير وتجديد السينوغرافيا. بشكل لافت، أشارت نتائج الاستبيان إلى أهمية قصوى (94%) لإقامة دورات أو ورش عمل تركز على تعلم كيفية استخدام هذه التقنيات في السينوغرافيا، مما يدل على رغبة متزايدة على التعليم والتدريب في هذا المجال. وتُظهر النتائج اعتقادًا قويًا بأن استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد يسهم ويعزز من تصميم وتنفيذ العناصر السينوغرافية بنسبة (86%). أهمية التكنولوجيا في تحقيق تصميمات مبتكرة وفريدة تعبر عن الرؤية الفنية تُقدر بـ94%، مما يؤكد على دورها المحوري في الابتكار والإبداع.

كما تشير نتائج الاستبيان إلى أن هناك إجماعًا واسعًا على الدور المستقبلي لتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال السينوغرافيا، حيث يعتبر 88% من المشاركين استخدام هذه التقنيات في المستقبل ذو أهمية كبيرة، ويُرى بأنها ستلعب دورًا أكبر في تحسين وتحويل مظاهر السينوغراف في المستقبل (91%). ومن المثير للاهتمام، الإجماع من المشاركين على أن السينوغرافيا بتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد هي مجال مستقبلي يستحق الاستثمار فيه، هذا الاستعداد يُعززه الاستجابة الإيجابية للسؤال حول تحسين المهارات في استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لتعزيز العمل السينوغرافي، حيث أبدى 92% من المشاركين استعدادهم لتطوير مهاراتهم في هذا الإطار.

تعكس هذه النتائج إدراكًا متناميًا لأهمية الطباعة ثلاثية الأبعاد، في تحويل المشهد السينوغرافي والفني بشكل عام. تُظهر الإحصائيات الواردة ضرورة دمج هذه التقنيات في العمليات الإبداعية والتصميمية، إن التأكيد القوي على التعليم والتدريب يشير إلى ضرورة توفير الموارد والفرص للمهنيين والطلاب لاكتساب مهارات متقدمة في هذا المجال، لضمان استمرارية الابتكار وتطور استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد في السينوغرافيا والفنون الحية.

ثانيًا: محاكاة سينوغرافيا العروض الحية بالتصنيع الإضافي باستخدام الذكاء الاصطناعي:

قمنا بتنظيم سلسلة من الأوامر والمهام للذكاء الاصطناعي بهدف محاكاة تصاميم السينوغرافيا للعروض المسرحية الحية باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد، لاستكشاف إمكانيات وحدود هذه التقنية المتقدمة. استندنا في ذلك إلى خوارزميات التعلم العميق لتحليل بيانات واسعة من الصور، وتعلم كيفية إنشاء

صور جديدة تقارب الأصل في النمط، اللون، والتركيب. كما استخدمنا الشبكات العصبية الخصومة التوليدية، مما مكننا من توليد تصاميم معقدة ومخصصة بدقة عالية. هذه العملية لا تقتصر على توسيع نطاق ما يمكن تصوره من إمكانيات فحسب، بل تعمل أيضًا على تعزيز فهمنا وإدراكنا لهذه التصورات، ما يجعلها خطوة مهمة نحو تحليل واستيعاب لأهمية استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في تطوير وتجديد السينوغرافيا.

أولًا، نستعرض نماذج بصرية مُحاكاة بتقنيات الذكاء الاصطناعي لأزياء متنوعة، التي أُنشئت باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد. تشمل هذه الأزياء الفساتين والأحذية والاكسسوارات، وقد صُممت كلها بأنماط دقيقة وأسلوب مستقبلي. تُظهر هذه الملابس الإمكانيات الهائلة للطباعة ثلاثية الأبعاد في الجمع بين الجمالية الفنية والفاعلية الوظيفية، من خلال استعراض تفاصيل معقدة واستخدام مواد مبتكرة تبرز هوية هذه التقنية. هذه القطع ليست مجرد تعزيز للمظهر الجمالي، بل هي وسيلة لتقوية الرؤية الفنية للمسرح، مما يدعم السينوغرافيا بعناصر تصميم تفتح آفاقًا جديدة للإبداع السينوغرافي.

شكل (7): نماذج بصرية مُحاكاة بتقنيات الذكاء الاصطناعي لأزياء باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد

ثم ننتقل لاستعراض مجموعة من الصور التي قمنا بإنشائها عن طريق الذكاء الاصطناعي، تُبرز تصاميم سينوغرافية مبتكرة لعروض مسرحية تجريبية تم إنجازها بتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد. هذه الصور تعكس مقاربات طليعية في السينوغرافيا، مُحملةً بتشكيلات مجردة وعناصر ديكورية غير اعتيادية، إلى جانب خلفيات غنية بالإبداع. كل جانب من هذه الديكورات يبرهن على القدرات الفريدة التي توفرها الطباعة ثلاثية الأبعاد لتوسيع آفاق الفن المسرحي، مؤكدةً على الطرق التي يمكن من خلالها إنعاش السينوغرافيا المسرحية.

شكل (8): نماذج بصرية مُحاكاة بتقنيات الذكاء الاصطناعي لتصاميم سينوغرافية باستخدام التصنيع الإضافي

تفسير ومناقشة نتائج البحث في ضوء الدراسات والبحوث السابقة

تتناول هذه الدراسة تأثير تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد والتصنيع الإضافي في مجال السينوغراف والفنون الحية، استنادًا إلى النتائج والتحليلات المستمدة من الأبحاث السابقة. يتم توضيح كيف يمكن لتلك التقنيات تجاوز التحديات الإبداعية وتحقيق الطموحات الفنية.

حيت أظهرت نتائج الاستطلاع كما هو موضح في الاستبانة على أن السينوغرافيا بتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد هي مجال مستقبلي يستحق الاستثمار فيه مادياً وبشرياً عن طريق العمل على خلق دورات وورش عمل لكيفية استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد للاستفادة المهنين منها وتعبيرهم عن استعدادهم لتحسين مهاراتك في استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لتعزيز اشتغالاتهم الفنية ولإيمانهم أن هذه التقنيات ستلعب دورًا أكبر في تحسين وتحويل مظاهر السينوغراف في المستقبل.

تماشياً مع نتائج البحث وفي ضوء الدراسات والبحوث السابقة لإعادة النظر في تصميم وإشغال المكان من منضور السينوغرافيا. إن المتطلبات المتزايدة للبنية التحتية التقنية والحاسوبية تجعلنا نفكر أولاً في دور التكنولوجيا في خلق اللامكان كما تصوره مارك أوجيه (1995). تستمر التكنولوجيا الجديدة أيضًا في التأثير على العمليات الإبداعية، مما يؤدي إلى إنشاء طبقات من المرشحات والوسطاء داخل الخطاب. وهذا يوفر أساسًا نظريًا لتحليل ثلاث حالات اختبارية مناسبة لإعادة النظر في دور التكنولوجيا في تصميم وبناء المكان. تشير النتائج إلى أن الإيماءة هي استعارة مفيدة تقاوم جلب التكنولوجيا إلى مركز الصدارة وتقدم مقترحات براون ودوجويد (2000) وكذلك هايدجر (1977)، الذين يوصون بالنظر إلى

ما هو أبعد من الوظيفة وبدلاً من ذلك الاهتمام بالجوانب الشخصية والاجتماعية للتفاعل مع الأشخاص والتقنية.

مجرد حث على أن التكنولوجيا تؤثر على مجالنا الشخصي للتجربة الظواهرية، والتي تؤثر على كل من عملياتنا الإبداعية وكذلك إدراكنا للمكان، ويجب الاستمرار في التدقيق فيها من خلال هذا الإطار النقدي، حيث نجد أن الدراسات السابقة أظهرت أن تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد تسهم بشكل كبير في تعزيز التفاصيل والواقعية في العناصر السينوغرافية. يعزز هذا التفاصيل البصرية ويجعل الأداء الحي أكثر جاذبية للجمهور (Sita Popat & Scott Palmer 2014)، أشارت إلى أن التصنيع الإضافي يمنح السينوغرافيين المرونة لإنشاء هياكل معقدة وغير تقليدية. يمكن أن يؤدي ذلك إلى توسيع حدود الإبداع الفني وتحفيز التجارب الجديدة في المسرح (عبد السلام وآخرون، 2019).

في دراسة أخرى وجد أن تقنيات التصنيع الإضافي تعيد تفعيل الأداء الحي من خلال إضفاء جوانب دينامية وحيوية على العروض (Dermott Mcmeel, Carol Brown & Alys Longley 2014) إذ يُعزز هذا التأثير التجربة الفنية بشكل كبير. ويعزز قدرة الفنانين على تحفيز التفاعل مع الجمهور. يمكن أن تسهم هذه التقنيات في خلق تجارب فنية فريدة وملهمة (العالية وكحلى، 2018). أما فيما يخص تأثير ثقافي واجتماعي نجد (Roberts & Lee, 2018)، تظهر أن تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد تؤدي إلى تحول في فهمنا للفنون الحية، حيث تعتبر وسيلة جديدة للتعبير الفني وتشكيل الفهم الثقافي.

وكذا (البقمي، م. ع.، 2021) تُظهر أن هذه التقنيات يمكن أن تسهم في تعزيز التفاعل المجتمعي من خلال توسيع فهم الجمهور للفن وتشجيع المشاركة والتفاعل الفعّال.

تلخيصًا للنتائج، يظهر أن تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد والتصنيع الإضافي لها تأثير إيجابي كبير على السينوغراف والفنون الحية، حيث تساهم في تحقيق التحديات الإبداعية وتلبية الطموحات الفنية والإبداعية ويمكننا القول إن مميزات التصنيع الإضافي تُعد إجابة واضحة على التحديات التي يواجهها مصممو الصناعة الفنية في تنفيذ تصوراتهم.

النتائج والتوصيات

البحث يبرز الدور المحوري للطباعة ثلاثية الأبعاد والتصنيع الإضافي في تحفيز الابتكار وتوسيع آفاق السينوغرافيا والفنون الحية، مؤكدًا على قدرتها في تعزيز الإبداع، خفض التكاليف، وتسريع الإنتاج. استنادًا إلى هذه النتائج، يُوصى بتطوير برامج تدريبية متخصصة للفنانين والمصممين، تشجيع وتوسيع البحث لاستكشاف إمكانياتها الكاملة، بما في ذلك تأثيراتها الثقافية. كما يدعو إلى التعاون القطاعي لتطوير

تقنيات جديدة ومبتكرة ونشر نجاحات استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في السينوغرافيا لإلهام الفنانين والمصممين.

علاوة على ذلك، يجب النظر في التحديات الحالية التي تواجه تبني الطباعة ثلاثية الأبعاد في الفنون الحية، بما في ذلك الحواجز التقنية ونقص المهارات اللازمة لاستخدام هذه التقنية بشكل فعّال. التغلب على هذه التحديات يتطلب استراتيجيات مدروسة وتعاونًا بين الأقسام المختلفة لتطوير برامج تدريبية متخصصة وتوفير الدعم اللازم لتبني هذه التكنولوجيا بشكل فعّال ومستدام في الفنون الحية.

في ختام البحث، يُؤكد على أن الطباعة ثلاثية الأبعاد لها القدرة على إحداث ثورة في السينوغرافيا والفنون الحية بشكل عام. ومن خلال التوصيات المقدمة، يُأمل في تحفيز المزيد من البحث والاشتغال في هذا المجال، وتشجيع الابتكار والتجريب، مما يفتح الباب أمام إنتاجات فنية جديدة ومبتكرة تسهم في تعزيز التجربة الثقافية والإبداعية للجمهور.

شكر وتقدير

يحظى هذا المشروع بدعم من مؤسسة تالا، وذلك في إطار مشروعها (TALA SPACE.25) لدعم البحث والإبداع الفني والثقافي.

المراجع

- دعاء عبد الرحمن محمد، علي عبد المنعم شمس، إسراء أحمد مدبولي أحمد، تأثير التكنولوجيا الرقمية على تصميم المنظر المسرحي، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية المجلد الخامس - العدد العشرون 2020.
- البقمي، م. ع. فاعليات الفنون الرقمية في مجال التصميم ودورها في تأثير الساحة الفنية السعودية. مجلة التربية النوعية والتكنولوجيا، 8, 42-53. جامعة كفر الشيخ، كلية التربية النوعية. 2021
- المهنا، بدر علي، توظيف التكنولوجيا الرقمية في سينوغرافيا عروض الفضاءات المتعددة، رسالة دكتوراه، المعهد العالي للفنون المسرحية، أكاديمية الفنون، الجيزة، 2016.
- شلتوت، محمد شوقي. "الطباعة ثلاثية الأبعاد وتوظيفها في التعليم." مجلة التعليم الإلكتروني، العدد 17، 2016.
- دسوقي، عبد الرحمن، الوسائط الحديثة في سينوغرافيا المسرح، دفاتر الأكاديمية، أكاديمية الفنون، الجيزة، 2005.

- م أ داود، م الحياني المشكوري، خ البكاي الهواري، ك الركلاوي، تصميم وتصنيع قطعة معيارية بأحدث قواعد التصميم للتصنيع بالليزر الانتقائي لقياس الأداء وتقييم الدقة البعدية في التصنيع الإضافي، الإصدار الثاني والعشرون: 06 يونيو 2024 من مجلة الشرق الأوسط للنشر العلمي.
- زكي، عبير فوزي، أثر استخدام الوسائط المتعددة في المسرح لتقنيات الإخراج المعاصر، دراسة تحليلية لنماذج من العروض العالمية والمصرية في الفترة 1990 إلى 2010، رسالة دكتوراه، المعهد العالي للفنون المسرحية، أكاديمية، 2016.
- Mohamed Amine Daoud, Khadija Bekkay Haouari, Meriem Hayani Mechkouri, Amine Ennawaoui, Hicham El hadraoui, Ilias Naser, Mustapha Ouardouz, Kamal Reklaoui. Optimizing Additive Manufacturing Workflows Using Model-Based Systems Engineering. June 2025 Results in Engineering DOI:10.1016/j.rineng.2025.105926.
- Mohamed Amine Daoud., Hayani Mechkouri, M., Chairi, Y., Haouari, K. B., & Reklaoui, K. (2024). Impact of build location on dimensional accuracy of 316L parts using SLM. Archives of Materials Science and Engineering, 124(2).

  https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.4683.
- Mohamed Amine Daoud, Meriem Hayani Mechkouri, Youssef Chairi, Kamal Reklaoui. Design of a Benchmark Part with Recent Design Rules for Selective Laser Melting. July 2023 DOI: 10.1007/978-3-031-32927-2_18 In book: Proceedings of CASICAM 2022.
- Moylan, Shawn, John Slotwinski, April Cooke, Kevin Jurrens, et M. Alkan Donmez. 2014. «An Additive Manufacturing Test Artifact». Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology 119:429. doi: 10.6028/jres.119.017.
- Rupal, Baltej Singh, Rafiq Ahmad, et Ahmed Jawad Qureshi. 2018. «Feature-Based Methodology for Design of Geometric Benchmark Test Artifacts for Additive Manufacturing Processes». Procedia CIRP 70:84-89. doi: 10.1016/j.procir.2018.02.012.
- Rebaioli, Lara, et Irene Fassi. 2017. «A Review on Benchmark Artifacts for Evaluating the Geometrical Performance of Additive Manufacturing Processes». The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 93(5-8):2571-98. doi: 10.1007/s00170-017-0570-.

- Dermott Mcmeel, Carol Brown & Alys Longley 2014, Design, digital gestures and the in [ter] ference of meaning: Reframing technology's role within design and place through performative gesture.
- Gabriella Arrigoni & Brigitta Zics 2016: Fiction and curatorial practice: developing alternative experiences for digital artistic prototypes.
- Johannes Birringer 2014: Moveable worlds/Digital scenographies; Johannes Birringer 2014.
- Sita Popat & Scott Palmer 2014: Creating common ground: dialogues between performance and digital technologies.
- Birringer, Johannes, Performance, Technology and Science, New York: PAJ Publications 2008.
- Yessos, C. 'The singularity of design creativity', Paper presented in the Proceedings of eCAADe: Communicating Spaces, Xourafas, pp. x-xvi 2006.