أثر عملية الإختبار التجريبى للتصميم فى تحسين دورة حياة المنتج

The impact of the Design Experimental Testing Process in improving Product Life-cycle

أ.م.د/ محمود أحمد جودة الجزار

أستاذ مساعد بقسم التصميم الصناعى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها

Assist.Prof. Dr. Mahmoud Ahmed Gouda El-Gazzar

Associate Professor, Department of Industrial Design, Faculty of Applied Arts, Benha University

mahmoud.algazar@fapa.bu.edu.eg

م.د/ مينا إسحق توفيلس داود

مدرس بقسم التصميم الصناعى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط

Dr. Mina Ishaq Tofilis Daoud

Lecturer, Department of Industrial Design, Faculty of Applied Arts, Damietta University

minaeshaq@du.edu.e

ملخص البحث:

تعد عملية الإختبار التجريبى للتصميم خطوة حاسمة فى تطوير دورة حياة المنتج وزيادة جودتها، حيث تتيح للمصممين تحديد أى مشكلات وتصحيحها قبل بداية مرحلة الإنتاج الكمى، ويؤدى هذا فى النهاية إلى جودة عالية ومنتج أكثر موثوقية، مما قد يكون له تأثير كبير على تكلفة دورة حياة المنتج بالكامل، وذلك من خلال إجراء التجارب أثناء عملية التصميم، يمكن للمصممين اكتساب رؤى قيمة حول كيفية أداء المنتج فى عملية الإستخدام فى العالم الحقيقى، كما يمكنهم بعد ذلك استخدام هذه المعلومات لإجراء التعديلات والتحسينات اللازمة على التصميم، مما يؤدى إلى تصنيع أكثر كفاءة وتقليل التالف والهالك من الخامات المستخدمة، بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدى استخدام النماذج والأدوات لمساعدة المصممين فى اتخاذ قراراتهم إلى زيادة تعزيز تأثير التجريب كإختبار قبلى للمنتج، مما يضمن اتخاذ القرارات الصحيحة فى سياق التصميم المناسب، أيضاً يمكن لتطبيق الإختبار التجريبى للتصميم أن يخفف من مخاطر مرتجعات المنتج ويعزز رضا المستخدمين من خلال تقديم منتج عالى الجودة يلبى توقعاتهم أو يفوقها؛ فيهدف هذا البحث إلى إستكشاف كيف يمكن لدمج الإختبار التجريبى للتصميم داخل عملية التصميم أن يؤثر على دورة حياة المنتج بأكملها، بما فى ذلك العوامل الأخلاقية والإقتصادية والبيئية وأن يعزز فوائدها، ومن خلال دمج هذا النهج فى تطوير المنتجات، يمكن للشركات تصنيع منتجات ذات تأثيرات بيئية أقل مع تضخيم قيمتها المالية، مما يؤدى إلى ممارسات تجارية أكثر إستدامة لكل من المجتمع والشركات المعنية، ويعد تبنى عملية الإختبار التجريبى للتصميم عنصراً أساسياً لإنتاج منتجات مستدامة من الدرجة الأولى طوال فترة تحسين دورة حياتها، وتحسين جودة وموثوقية المنتجات، ويقلل من النفايات، ويعزز رضا المستخدم، ويخفف من مخاطر تلف المنتجات ويمكّن المصمم من ممارسات تصميمية أكثر إستدامة.

الكلمات المفتاحية:

النماذج الأولية، دورة حياة المنتج، أبحاث المستخدم، النموذج التجريبى، الإختبار التجريبى للتصميم

Research Summary:

The Design Experimental Testing process is a crucial step in the product development lifecycle, as it allows designers to identify and correct any issues before mass production. This ultimately leads to a higher quality and more reliable product, which can have a significant impact on the entire product lifecycle cost. By conducting experiments during the design process, engineers can gain valuable insights into how a product will perform in real-world situations. They can then use this information to make necessary adjustments and improvements to the design, leading to more efficient manufacturing and reduced waste. In addition, the use of models and tools to aid designers in their decision-making can further enhance the impact of experimentation, ensuring that the right decisions are made within the appropriate business context. Moreover, the application of Design Experimental Testing can mitigate product recall risks and boost consumer contentment by delivering a high-quality product that meets or surpasses their expectations. This research aims to explore how incorporating Design Experimental Testing into the entire product lifecycle, including ethical, economic, and environmental factors can enhance its benefits. By integrating this approach in developing products, corporations could manufacture items with lesser ecological impacts while amplifying their financial value – resulting in more sustainable business practices for both society and the companies involved. In conclusion, embracing the Design Experimental Testing process is an essential element of producing top-tier products throughout their lifecycle enhancement. It improves the quality and reliability of products, reduces waste, boosts consumer satisfaction, mitigates recall risks and enables more sustainable business practices.

Keywords:

Prototyping; Product Lifecycle; User Research; Experimental Prototype; Design Experimental Testing

مقدمة:

تلعب عملية الإختبار التجريبى للتصميم، والمعروفة أيضاً باسم عملية القياس التحقق القبلى من التصميم دوراً مهماً فى تحسين دورة حياة المنتج الإجمالية، ويتضمن إجراء تجارب خلال المراحل الأولى من تطوير المنتج لتحديد وتصحيح أى مشكلات قبل الإنتاج الكمى، وتؤدى هذه العملية إلى منتج أعلى جودة وأكثر موثوقية، مما يقلل التكاليف والهدر، ويسمح بالنظر فى العوامل الأخلاقية والإقتصادية والبيئية فى تصميم المنتج وتطويره.

اكتسب هذا النهج اهتماماً كبيراً فى المجالات المتعلقة بالتصميم والهندسة نظراً لقدرته على تقديم رؤى قيمة حول كيفية عمل المنتج فى ظروف العالم الحقيقى، وتساعد أدوات التصميم والتحسين التجريبية فى الفحص المنهجى لمختلف المشكلات التى تنشأ أثناء مراحل البحث والتطوير والإنتاج، ويمكن أن تؤدى هذه العملية إلى تحسين عملية صنع القرار بشكل كبير فى سياق الأعمال وتخفيف مخاطر ومشكلات المنتج، مما يؤدى فى النهاية إلى زيادة رضا المستخدم (Terzi et al., 2010)، وعلاوة على ذلك، من خلال دمج العوامل الأخلاقية والإقتصادية والبيئية فى عملية الإختبار التجريبى للتصميم، يمكن للشركات إنتاج منتجات لها تأثير إيجابى على المجتمع مع الحفاظ على جدواها من الناحية المالية.

وبشكل عام، توفر عملية الإختبار التجريبى للتصميم طريقة شاملة لتحسين تطوير المنتج ودورة الحياة مع العديد من الفوائد، مثل تقليل الهالك والنفايات والتكلفة وتحسين الجودة والموثوقية وممارسات الأعمال التصميمية الأكثر إستدامة، باستخدام

هذه المنهجية، كما يمكن للشركات اتخاذ قرارات أكثر فاعلية أثناء تطوير المنتج والتأكد من أن المستخدمين النهائيين يتلقون المنتجات التى تلبى إحتياجاتهم مع مراعاة التأثير الأوسع على المجتمع والبيئة.

فإن دمج الإختبار التجريبى للتصميم فى تطوير المنتج يعزز جودة وموثوقية المنتجات، ويؤدى هذا النهج إلى تحسين ممارسات الإستدامة فى الأعمال التصميمية اللاحقة، والتى تعتبر ضرورية لنجاح ونمو الشركات على المدى الطويل فى مجتمع اليوم، كما يعد استخدام التصميم التجريبى وأدوات التحسين فى عملية تطوير المنتج أمراً بالغ الأهمية للشركات التى تهدف إلى تحسين دورة حياة المنتج الإجمالية، فهى تمكنهم من تحديد المشاكل المحتملة فى وقت مبكر من دورة التطوير (Sudarsan et al., 2005)، مما يقلل التكاليف المرتبطة بسحب المنتجات أو تغييرات المرحلة المتأخرة، وعلاوة على ذلك يمكن أن يؤدى اعتماد نهج تصميم يركز على تصحيح الأخطاء بشكل قبلى إلى سد الفجوة بين إحتياجات المستخدم ومنتجات المصممين.

مشكلة البحث:

فى العالم الصناعى بصفته مجتمع سريع التغير والتطور، تواجه العديد من الشركات التحدى المتمثل فى تطوير منتجات عالية الجودة وموثوقة تلبى احتياجات المستخدمين النهائيين، وذلك مع مراعاة العوامل الأخلاقية والاقتصادية والبيئية الأوسع نطاقاً، وهذا يتطلب تنفيذ نهج شامل لتطوير المنتجات يأخذ فى الاعتبار جميع مراحل البحث والتطوير والإنتاج؛ فتتمثل إشكالية البحث فى إمكانية أن يؤدى ندرة وجود مثل هذا النهج الشامل إلى زيادة التكاليف المرتبطة بسحب المنتجات وتغييرها، وتأخر مراحل إختبار المنتج إلى مراحل متأخرة من عمليات الإنتاج يؤدى إلى إهدار فى كل من الوقت والتكلفة الإقتصادية مما يؤثر سلباً على مراحل التصميم وعمليات تطوير المنتج، ويؤدى أيضاً إلى إنخفاض رضا العملاء والجدوى المالية الشاملة للشركة، ويمكن أن يوفر دمج إختبار التصميم التجريبى فى عملية تطوير المنتج حلاً لهذه التحديات عن طريق تقليل الفاقد والتكلفة، وتحسين الجودة والموثوقية، وضمان ممارسات الأعمال التصميمية المستدامة.

فرض البحث:

إذا ما تم إعتماد إستراتيجيات الإختبار التجريبى للتصميم كمرحلة أساسية ضمن برنامج تصميم المنتج فإن ذلك سيؤدى إلى رفع كفاءة إستعمالية المنتجات وتوفير الجهد والوقت والتكلفة اللازمة لعمليات التطوير للمنتجات والنظم والخدمات، وسيؤدى اعتماد إختبار التصميم التجريبى فى عملية تطوير المنتج إلى تحسين جودة وموثوقية المنتجات، وتقليل التكاليف المرتبطة بالتغييرات فى المرحلة المتأخرة أو عمليات الاستدعاء، وزيادة اعتماد ممارسات الأعمال المستدامة، علاوة على ذلك، يمكن أن يؤدى اعتماد نهج تصميم يركز على الصحة إلى سد فجوة الاتصال بين مقدمى الخدمات والمستخدمين النهائيين، مما يؤدى إلى أداء أفضل للمنتج والرضا العام، بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدى دمج الابتكارات البيئية والممارسات المستدامة فى عملية تطوير المنتج إلى تقليل التأثير البيئى وتحسين الرفاهية المجتمعية وزيادة ولاء العملاء وتعزيز الجدوى المالية للشركات.

هدف البحث:

الهدف من هذا البحث هو استكشاف فوائد وجدوى دمج إختبار التصميم التجريبى فى عملية تطوير المنتج، لا سيما فيما يتعلق بتحسين الجودة والموثوقية، وخفض التكاليف، وتعزيز ممارسات الأعمال المستدامة، علاوة على ذلك، يهدف هذا البحث إلى استكشاف كيف يمكن لنهج التصميم المرتكز على المستخدم أن يسد الفجوة بين مقدمى الخدمة والمستخدمين

النهائيين، مما يؤدى إلى تحسين أداء المنتج والرضا، بالإضافة إلى ذلك، يسعى هذا البحث إلى فهم تأثير دمج الابتكارات البيئية والممارسات المستدامة فى عملية تطوير المنتج على التأثير البيئى والرفاهية المجتمعية وولاء العملاء والجدوى المالية للشركات.

المنهجية:

يناقش البحث مزايا دمج الإختبار التجريبى للتصميم فى عملية تصميم وتطوير المنتج، ويستلزم النهج استخدام آليات التصميم والتحسين التجريبى لتحليل المشكلات المتنوعة التى قد تظهر خلال مراحل البحث والتطوير والإنتاج بشكل كمى، ويشمل النظر فى المخاوف الأخلاقية والإقتصادية والبيئية عند تطوير المنتجات لضمان حصول المستخدمين النهائيين على منتجات جيدة، كما يمكن الإعتماد عليها مع التفكير أيضاً فى تأثيرها على المجتمع والبيئة، ويتضمن الإلتزام بهذه المنهجية اتخاذ تدابير محددة: ١) تحديد المشكلة أو الحاجة لمنتج جديد، ٢) إجراء أبحاث السوق لفهم إحتياجات المستخدمين النهائيين وتحديد التحديات المحتملة فى تطوير المنتج، ٣) تطوير مفهوم المنتج والنموذج الأولى الذى يمكن إختباره بشكل متكرر باستخدام أدوات الإختبار التجريبى للتصميم، ٤) تحليل نتائج الإختبارات التجريبية لتحديد المجالات المحتملة للتحسين فى تصميم المنتج ووظائفه وعوامل الإستدامة؛ فإجراء التحسينات والتعديلات اللازمة على تصميم المنتج بناءً على نتائج الإختبارات التجريبية، وذلك للتأكد من أن المنتج المحسن يلبى معايير الجودة المطلوبة، بما فى ذلك كونه منتجاً عملياً وفعالاً، وتقدم الأقسام التالية معلومات أكثر شمولاً بخصوص هذه الأهداف.

١- نظرة شاملة على نهج دورة الحياة لتصميم وتطوير المنتجات/الأنظمة:

تشير دورة حياة المنتجات/الأنظمة Products/Systems Lifecycle إلى جميع المراحل التى يمر بها المنتج من المفهوم المجرد للفكرة العامة إلى إعادة التدوير أو التخلص النهائى من المنتج، ويمكن أن يشمل ذلك مرحلة البحث والتطوير، الإنتاج، التوزيع، الإستخدام من قبل المستخدمين، الصيانة والإصلاح إذا لزم الأمر، والتخلص أو إعادة التدوير فى نهاية المطاف؛ فمن خلال فهم دورة حياة المنتجات/الأنظمة، يمكن لمصممى الشركات تقييم وإدارة المخاطر والتحديات المحتملة التى تظهر خلال عملية التصميم والتطوير بشكل أفضل (Ameri & Dutta, 2005)، كما يساعد هذا فى ضمان أن المنتج النهائى يلبى إحتياجات المستخدمين النهائيين، ويكون مستداماً ومجدياً اقتصادياً وأخلاقياً وسليماً من النواحى البيئية.

وتنقسم دورة حياة المنتجات/الأنظمة إلى عدة مراحل متنوعة مثل: التصور Conception والتصميم Design والنماذج الأولية Prototyping والإختبار والتحقق من الصحة Testing and Validation والإنتاج والتصنيع Production and Manufacturing والتوزيع والخدمات اللوجستية Distribution and Logistics والإستخدام/الصيانة/الإصلاح/التحديث Use/Maintenance/Repair/Upgrade والتخلص/إعادة التدوير Disposal/Recycling (Wiesner et al., 2015)، باتباع نهج دورة الحياة ومراعاة المخاوف الأخلاقية والإقتصادية والبيئية، يمكن للمنظمات تطوير منتجات عالية الجودة تلبى إحتياجات المستخدمين النهائيين مع تقليل الآثار السلبية على المجتمع والبيئة.

أ- التصور المبدئى Conception: يتضمن تحديد الحاجة إلى منتج أو نظام جديد وتطوير فكرة أو مفهوم أولى، ويتم ذلك غالباً عن طريق إجراء أبحاث المستخدم/السوق لفهم إحتياجات المستخدمين النهائيين المحتملين، وكذلك تحديد التحديات المحتملة فى تطوير المنتج، وتتضمن هذه المرحلة تحديد الغرض من المنتج ونطاق عمله، بالإضافة إلى تحديد الأهداف والغايات.

ب- التصميم Design: يتضمن أخذ المفهوم الأولى المجرد وإنشاء مواصفات مفصلة للمنتج، بما فى ذلك الشكل والوظيفة وإختيار المواد وعوامل الإستدامة، ويستخدم المصممون العديد من الأدوات والتقنيات لضمان أن المنتج يلبى إحتياجات المستخدم، بما فى ذلك النماذج الأولية والمحاكاة والتأكيد على مفهوم الإستعمالية.

ج- النماذج الأولية Prototyping: تشير إلى إنشاء نموذج أو عينة أولية تسمح للمصممين والمهندسين بإختبار تصميم المنتج وتحسينه قبل إنشاء النموذج النهائى؛ فالنماذج الأولية هى المرحلة التى يتم فيها إنشاء نموذج أولى مادى أو رقمى لإختبار مفهوم التصميم وتحسينه، فهذه مرحلة مهمة فى دورة حياة المنتج لأنها تتيح للمصممين والمهندسين تحديد العيوب المحتملة أو مجالات التحسين قبل الانتقال إلى مرحلة الإنتاج الكمى.

د- الإختبار والتحقق من الصحة Testing and Validation: يعمل على تقديم تقييماً صارماً لأداء المنتج وسلامته وموثوقيته وفقاً لمختلف المعايير الوطنية أو الدولية للمنتجات الصناعية، وغالباً ما تتضمن هذه المرحلة تحديد العيوب والعمل على تصحيحها قبل طرح المنتج فى السوق، وفى هذه المرحلة، يتم تقييم المنتج أيضاً للتأكد من توافقه مع المعايير الأخلاقية والإستدامة ومعالجة أى مخاوف بيئية محتملة.

هـ - الإنتاج والتصنيع Production and Manufacturing: يتكون من الإنشاء الفعلى للمنتج أو النظام على نطاق واسع، وغالباً ما يتم استخدام خطوط التجميع والعمليات الآلية لتحقيق الكفاءة والاتساق العام، تتضمن هذه المرحلة أيضاً إختيار الموردين والمواد للإنتاج وإدارة مستويات المخزون وضمان مراقبة الجودة.

و- التوزيع والخدمات اللوجستية Distribution and Logistics: يشمل نقل المنتج وتسليمه إلى تجار التجزئة أو المستخدمين النهائيين، وتتضمن هذه المرحلة التنسيق مع مزودى الخدمات اللوجستية وإنشاء شبكة توزيع لنقل المنتج أو النظام بكفاءة وفاعلية.

ز- التشغيل والصيانة Operation and Maintenance: يعمل على ضمان استمرار المنتج فى العمل بشكل صحيح طوال دورة حياته، وتتضمن هذه المرحلة تقديم دعم المستخدمين وخدمات الصيانة، ومراقبة مقاييس الأداء، وتحديد مجالات التحسين أو التطوير، والعمل على إطالة العمر الإفتراضى للمنتج من خلال الترقيات أو الإصلاحات، كما يجب على المصممين أيضاً مراعاة عوامل الإستدامة طوال دورة حياة المنتج، بدءاً من إختيار المواد المستدامة وأساليب الإنتاج إلى تقليل النفايات فى التصنيع والتوزيع.

ح- التخلص/إعادة التدوير Disposal/Recycling: يتضمن التخلص من المنتج أو إعادة تدويره بشكل صحيح فى نهاية عمره الإفتراضي، وتزداد أهمية هذه المرحلة حيث تعمل الشركات والحكومات على تقليل النفايات وتقليل تأثيرها البيئى، وفى هذه المرحلة، يجب على المصممين والمصنعين مراعاة الأثر البيئى لعملية التخلص من المنتج أو إعادة تدويره والعمل على إنشاء نظام حلقة مغلقة تسمح بإعادة تدوير المواد وإعادة استخدامها بدلاً من التخلص منها فى مكب النفايات.

فالهدف النهائى لدورة حياة المنتج هو إنشاء منتج يلبى إحتياجات المستخدمين المستهدفين، ويضيف قيمة إلى المجتمع، ويحقق ربحاً للشركة مع تقليل الآثار البيئية السلبية، كما تسلط هذه المراحل من دورة حياة المنتج الضوء على أهمية مراعاة التأثير البيئى والإستدامة فى كل خطوة، بدءاً من تصميم المنتج وحتى التخلص منه (Liu et al., 2009)؛ فتشمل فوائد استخدام نهج دورة الحياة لتطوير المنتجات، تحسين الكفاءة، خفض التكاليف، زيادة رضا المستخدمين وولائهم، تحسين صورة العلامة التجارية وسمعتها، الإمتثال التنظيمى للشركات، والتأثير الإيجابى على البيئة، كما يوفر نهج دورة الحياة لتطوير المنتج نظرة شاملة للعملية بأكملها (Brundage et al., 2018)، مما يسمح للشركات بتحديد مجالات التحسين والتطوير عملياتها فى كل مرحلة، ويوفر استخدام نهج دورة الحياة لتطوير المنتجات العديد من الفوائد للشركات، بما فى ذلك زيادة الإستدامة، وتحسين الكفاءة، وزيادة رضا المستخدمين، من خلال مراعاة الإستدامة والتأثير البيئى طوال دورة

حياة المنتج بأكملها، كما يمكن للشركات إنشاء منتجات تلبى إحتياجات المستخدمين مع تقليل الآثار السلبية على البيئة أيضاً لتعزيز عامل الإستدامة.

٢- أهمية تضمين الإختبارات التجريبية ضمن دورة حياة المنتج:

يمكن أن يوفر دمج الإختبارات التجريبية أثناء دورة حياة المنتج فوائد كبيرة لكل من المصممين والمصنعين من حيث تحديد المجالات المحتملة للتحسين فيما يتعلق بالإستدامة والكفاءة والوظائف وخبرة المستخدم؛ فلا تعمل طرق الإختبار الدقيقة هذه فقط كوسيلة فعالة للتحقق من صحة المزايا المرتبطة بدمج ميزات أو مواد معينة فى منتج معين، ولكن أيضاً تضمن الإمتثال للوائح الصناعة وإرشادات التصميم والتصنيع (Boehm et al., 1984)، هذا النهج مهم بشكل خاص فى مشهد السوق اليوم الذى يشهد منافسة شديدة حيث يجب على الشركات أن تسعى باستمرار نحو تحسين منتجاتها للحفاظ على مستويات رضا المستخدمين مع تقليل التأثير البيئى فى الوقت نفسه، كما يمكن أن يؤدى استخدام الإختبارات التجريبية طوال دورة حياة المنتج إلى منتجات مصممة بشكل ممتاز تكون أكثر إستدامة مع تلبية إحتياجات المستخدمين، وبالتالى تقديم مساهمات إيجابية تجاه المجتمع مع الاستفادة من عائدات الشركة.

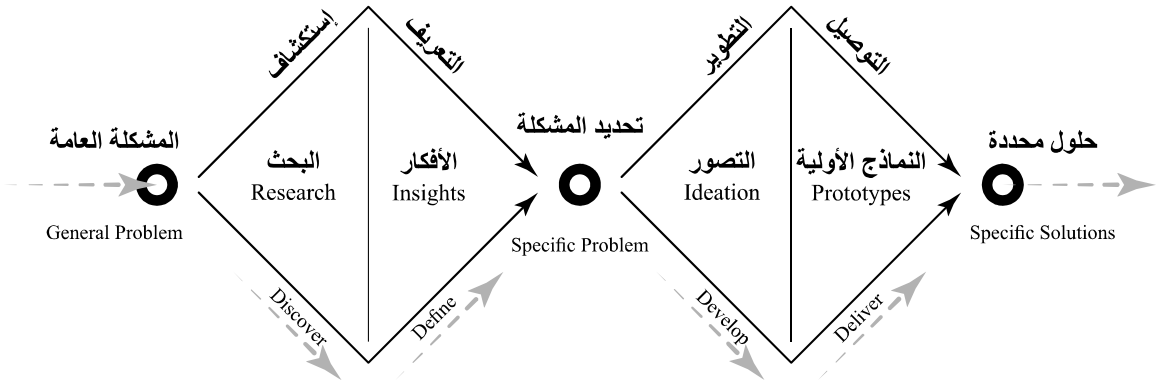
ويعد إختبار تصميم المنتج مكوناً أساسياً فى عملية التفكير التصميمى (Pilipović et al., 2007)، والذى يساعد الفرق فى تطوير حلول فعالة لمختلف مشكلات المستخدمين، من خلال تحديد مهمة المستخدمين أولاً وفهم تحدياتهم بشكل شامل، يمكن للفريق إنشاء مفاهيم مبتكرة لحل هذه المشكلات، وتتضمن الخطوة التالية لذلك بناء نماذج أولية لهذه الحلول المقترحة لإختبار جدواها وفعاليتها بدقة، يمكّن هذا النهج الفرق من تحسين تصميمات المنتجات باستمرار (Bao et al., 2018)، مما يضمن أنها تلبى إحتياجات المستخدم مع الحفاظ على قدرتها التنافسية داخل السوق.

أيضاً أثناء عملية تصميم المنتج، من الضرورى إجراء إختبار شامل لتقييم فعاليته وتحديد المجالات التى يمكن إجراء التحسينات فيها، تمثل مرحلة الإختبار تتويجاً لدورة تكرارية تتضمن التحقق من صحة الأفكار، وتطوير نماذج أولية عالية الدقة، وإجراء التحقق مرة أخرى، وأخيراً تقييم مدى جودة أداء الميزة بدقة، يسهل هذا النهج الدورى التحسين المستمر حتى يتم التوصل إلى حل قوى من خلال دورات الصقل المتكررة، تؤكد هذه العملية على أهمية دمج التعليقات الواردة من المستخدمين فى بيئات العالم الحقيقى فى التكرارات اللاحقة (Barbieri et al., 2013)، إنه يمكّن المصممين من تحسين تصميماتهم مع كل تكرار يؤدى فى النهاية إلى النتائج المثلى للمستخدمين النهائيين.

وقد يبدو الإختبار التجريبى لتصميم المنتج والإختبار الفعلى للمنتج متشابهين، لكنهما لهما أهداف مختلفة ويخدمان أغراضاً مميزة فى مراحل مختلفة من عملية إدارة دورة حياة المنتج؛ فيهتم إختبار تصميم المنتج فى المقام الأول بالتحقق من صحة المفاهيم من خلال تقييمها من تجارب فحص المستخدم الفعلى لتحسين المنتجات، ومن ناحية أخرى، يهدف إختبار المنتج الفعلى إلى ضمان تحقيق مستوى عالٍ من الجودة لجميع المنتجات أثناء اكتشاف أى عيوب قبل طرحها فى السوق، ويمكن للتوسع البحثى فى هذه الاختلافات أن يوفر رؤى أعمق للمصمم الصناعى (Fu et al., 2022)، وذلك لأهميتها فى عمليات الإنتاج الإجمالية، كما سيساعد هذا التحليل المؤسسات على اكتساب فهم أفضل لكيفية مساهمة كل إختبار فى تعزيز مستويات رضا المستخدمين من خلال تقديم منتجات ممتازة تلبى أو تتجاوز توقعاتهم فيما يتعلق بمعايير الجودة والأداء والموثوقية وسهولة الإستخدام.

كما يعد إختبار المنتج جزءاً لا يتجزأ من عملية تطوير المنتج، والذى يتضمن تقييم فعالية ووظيفة منتج معين، تشمل هذه الممارسة الحاسمة أنواعاً مختلفة من الإختبارات مثل الإختبار البيئى، وإختبار المتانة، والإختبار الآلى المصمم لفحص الجوانب المختلفة لتشغيل البرامج الملحقة والأجهزة المادية؛ فالهدف الأساسى من وراء هذه الأساليب هو ضمان الأداء

الأمثل للمنتج بما يتوافق مع المعايير المعمول بها من خلال التقييم والتحليل الصارمين، ويمكن أن يتضمن فى هذا الموضوع إستكشاف أمثلة محددة أو دراسات الحالة حيث لعب إختبار المنتج الفعال دوراً مهماً فى ضمان نجاح مشاريع تطوير البرامج أو مناقشة الإتجاهات الناشئة فى هذا المجال مثل ممارسات التكامل المستمر بين المُصمم والمُصنع والمُستخدم، والتى تتيح المزيد عن تقييمات المنتج الفعالة والشاملة أثناء دورات التطوير (Grimheden, 2011)، ويوضح شكل (١) المراحل المتعددة من نموذج الماسة المزدوج، وتسلط الضوء على مراحل مختلفة من نموذج الماسة المزدوج مثل الإكتشاف والتعريف والتطوير والتسليم، ويتضمن أيضاً الوصف الرئيسى لكل عملية من أجل توفير حلول محددة.



شكل (١) المراحل المتعددة من نموذج الماسة المزدوج

إن إختبار تصميم المنتج يعد عملية ذات أهمية علمية تتطلب قدراً كبيراً من الجهد والطاقة، وإنه ينطوى على التحدث مع المستخدمين، التفكير، بناء النماذج، وأخيراً تحليل معدل نجاح الحلول بناءً على ملاحظات المستخدمين؛ فتكمن الأهمية فى معرفة مدى نجاح الحل الخاص بالمنتج بعد تقييم استخدامه من قبل المستخدمين الفعليين، كما سيوفر الانخراط فى إختبار تصميم المنتج العديد من الفوائد الأكاديمية مثل:

- تطوير فهم أفضل لإحتياجات المستخدمين، وإتمام المهام الخاصة بهم.
- تحديد طرق جديدة لتلبية إحتياجات المستخدمين ومشاكلهم ورغباتهم.
- كشف العوائق والحواجز التى قد تقابل المصمم والمستخدم.
- توفير الموارد من خلال التحقق من صحة إفتراضات وأفكار المصمم فى وقت مبكر.
- الحرص على متابعة إحتياجات المستخدمين المتغيرة باستمرار.
- ضمان التوافق عبر دورة حياة المنتج كاملة.
- دعم قرارات المنتج أمام المُصنع والمستخدم.
- تحسين خبرة المستخدم للمنتج، وزيادة التحويلات وزيادة رضا المستخدمين وولائهم.

وللتميز الكبير فى مجال تطوير المنتجات، يجب على المصمم التعمق فى إحتياجات المستخدمين، وأن يكون لديه الوظائف التى يتعين عليهم القيام بها، ومن خلال تحديد طرق جديدة ومبتكرة لتلبية متطلبات المستخدمين ومشاكلهم ورغباتهم، ستتمكن من إكتشاف العقبات أو الحواجز المحتملة فى وقت مبكر، كما يمكن أن يساعد ذلك فى توفير الموارد القيّمة من خلال التحقق من صحة الإفتراضات قبل استثمار الكثير من الوقت أو المال فى فكرة (Bauer et al., 1998)، بالإضافة إلى ذلك، فإن إبقاء اهتمام المصمم الصناعى على نبض إحتياجات المستخدمين المتغيرة باستمرار يضمن التوافق فى جميع مراحل دورة حياة المنتج، ولا يدعم الفهم الشامل لمتطلبات المستخدم قرارات المنتج المستنيرة فقط، بل يعزز أيضاً خبرة المستخدم الشاملة، ويعزز فى النهاية مستويات رضا المستخدمين وكذلك الولاء تجاه المنتج الصناعى المستهدف.

٣- تحسين مراحل عملية التصميم عن طريق نهج الإختبارات التجريبية:

يتيح اعتماد نهج الإختبار التجريبى فى عملية تصميم المنتج تحسين المراحل المختلفة مثل التفكير والنماذج الأولية والتنفيذ، من خلال إجراء إختبار تصميم المنتج أثناء مرحلة التفكير، ويمكن للمصمم التأكد من أنه يلبى إحتياجات المستخدمين و مهامهم بدقة، ويساعد هذا على بناء نماذج أولية أكثر انسجاماً مع ما يبحث عنه المستخدمون، وكذلك تقييم معدل نجاح الحلول بناءً على ملاحظات المستخدمين خلال مرحلة النماذج الأولية (Wensveen & Matthews, 2014)، وستضمن هذه العملية التكرارية أن يكون تنفيذ منتج أكثر سلاسة ونجاحاً، مع فرصة أكبر لتلبية توقعات المستخدمين، كما يمكن أن يساعد اعتماد نهج الإختبار التجريبى فى الكشف عن عيوب أو أخطاء التصميم المحتملة فى وقت مبكر من العملية.

وعندما يتعلق الأمر بإختبار تصميم جديد مقترح يجب إتباع أربع مراحل رئيسية وهى:

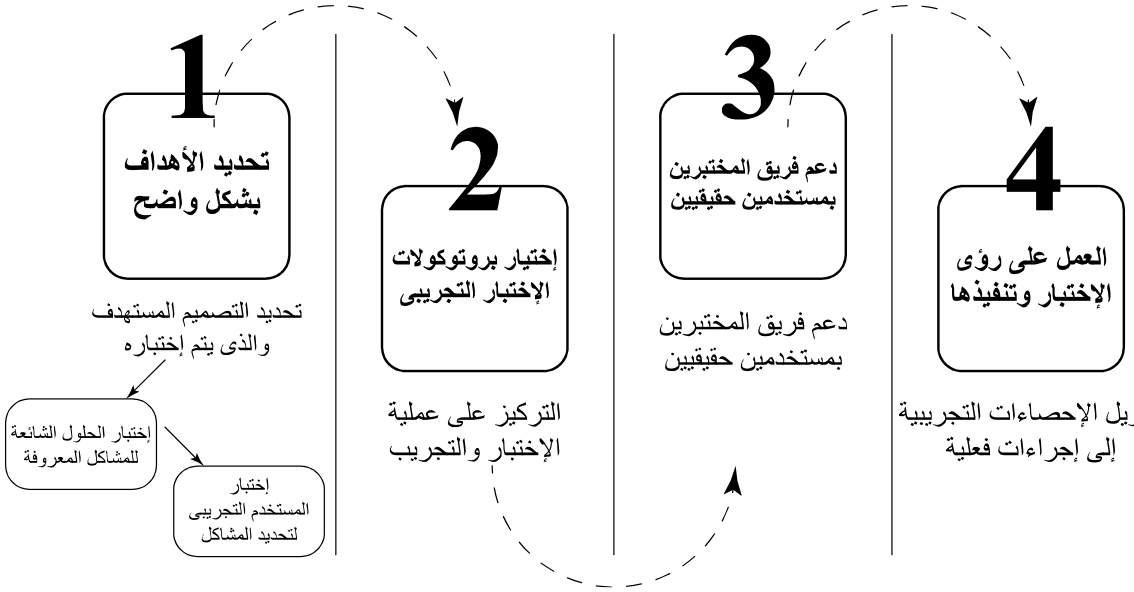
٣-١- تحديد الأهداف بشكل واضح.

٣-٢- إختيار بروتوكولات الإختبار التجريبى.

٣-٣- دعم فريق المختبرين بمستخدمين حقيقيين.

٣-٤- العمل على رؤى الإختبار وتنفيذها.

فتتضمن عملية التنفيذ الفعال للإختبار التجريبى للتصميم وإجرائه تحديد أهداف واضحة تتماشى مع النتائج المرجوة، ومن المهم أن يتم إختيار بروتوكولات الإختبار المناسبة لقياس مؤشرات الأداء الرئيسية بدقة، كما أن التوظيف والإختيار المناسبين للمختبرين الذين يمتلكون المهارات اللازمة هو أيضاً جانب حاسم فى تنفيذ الإختبار بنجاح، وأخيراً يمكن أن يؤدى العمل بناءاً على الأفكار المكتسبة من نتائج الإختبار إلى تحسينات ذات مغزى نحو تحقيق الأهداف المرجوة، ويوضح شكل (٢) المراحل الرئيسية الأربعة التى يتبعها المصمم عند تصميم أو تطوير منتج جديد.



شكل (٢) المراحل الأربعة الواجب إتباعها عند إختبار تصميم منتج جديد

٣-١- تحديد التصميم المستهدف والذي يتم إختباره:

بداية قد يتشارك فريق إعداد المنتج فى إختبار التصميم بهدف أساسى هو تعزيز قاعدة معارفهم وتوسيع فهمهم، ويخدم هذا النوع من الإختبارات غرضاً مزدوجاً وهو معالجة المشكلات الموجودة مسبقاً بفعالية (Russo et al., 2017)، مع الكشف أيضاً عن التحديات الجديدة التى ربما لم يلاحظها أحد بخلاف ذلك.

أ- إختبار الحلول الشائعة للمشاكل المعروفة

إذا كانت لدى المصمم مشكلة محددة بوضوح وتتطلب حلاً، فهو فى منتصف الطريق نحو تحقيق أهدافه النهائية، والخطوة التالية هى إنشاء الفرضيات وإختبارها بشكل منهجى واضح، يضع المصمم فى اعتباره السيناريو الذى يميل فيه المستخدمين إلى التغيير قبل أن يصلوا إلى نقطة تنشيط عرض المنتج/النظام/الخدمة؛ وكطريقة محتملة للبحث يمكن الافتراض بأن دمج قائمة مراجعة أثناء الإختبارات فى بداية المراحل الأولى قد يعزز تصور المستخدمين لقيمة المنتج، وهذه الفرضية تتطلب المزيد من التحقيق فى الدراسات المستقبلية للغرض المطلوب.

ب- إختبار المستخدم التجريبى لتحديد المشاكل

يعد إختبار المستخدم ممارسة أساسية لإكتشاف المشكلات التى قد تواجه المستخدمون عند التفاعل مع أحد المنتجات/الأنظمة، لاكتساب فهم أعمق لهذه المشكلة، من المهم التفكير فى استخدام طرق مختلفة مثل الإستطلاعات أو مقابلات المستخدم، بينما يمكن أن يوفر كلا الخيارين رؤى قيمة، فإن إجراء مقابلات مع المستخدم يوفر قدراً أكبر من المرونة ويسمح بتكييف الأسئلة فى الوقت الفعلى بناءً على إجابات الشخص الذى تتم مقابلته، ومن خلال اتباع هذا النهج، يمكن للمصمم جمع المزيد من البيانات الشاملة المتعلقة بتجارب المستخدمين واتخاذ قرارات مستنيرة حول كيفية تحسين المنتج بطرق صحيحة وفعالة.

تتطلب مقابلة العميل أكثر من مجرد مقابلة عادية، والتحضير الكافى مطلوب لضمان تحقيق أهداف المقابلة بشكل فعال، ويتضمن أحد الجوانب المهمة للتحضير لمقابلات المستخدم تطوير بيان التركيز على الأهداف، والذى يساعد فى تضييق نطاق مجالات الإهتمام المحددة ويضمن أن جميع الأسئلة المطروحة تتوافق مع هذه المجالات، وبعد إجراء المقابلات أو جمع التعليقات من المستخدمين، يجب صياغة الفرضيات بناءً على البيانات التى تم جمعها كما هو موضح سابقاً (Camburn et al., 2015)؛ فلا يسمح هذا النهج التحليلى بتفسير وفهم أفضل للمعلومات التى تم جمعها فقط، بل يوفر أيضاً رؤى حول الحلول الممكنة أو السبل الأخرى للإستكشاف.

٣-٢- التركيز على عملية الإختبار والتجريب:

بمجرد وضع أسئلة البحث نحو المشكلة والفرضيات لحلها، من الضرورى إختيار منهجية إختبار مناسبة تتوافق مع الأهداف المحددة للدراسة مع مراعاة قيود الميزانية والقيود الزمنية، ويعتمد إختيار عملية الإختبار المناسبة على عوامل مختلفة مثل متطلبات المستخدم والموارد المتاحة والأهداف النهائية (Elgazzar & Dawood, 2023)، كما يمكن أن يختلف نطاق عمليات الإختبار من إجراء دراسات الإستعمالية على نطاق صغير مع عدد محدود من المشاركين فى الإختبار إلى إجراء إختبارات عملية واسعة النطاق تشمل آلاف المستخدمين لإجراء تحليل شامل، ومن الضرورى التوسع الأكاديمى من خلال الإطلاع على المنشورات البحثية ذات الصلة قبل تحديد الطريقة الأفضل التى تناسب أهداف الدراسة ومعاييرها، ومن خلال دمج المعرفة الموجودة فى المشكلة المعنية من خلال البحث الأكاديمى الشامل يمكن للمصمم تعزيز صحة وموثوقية المنهجية التى اختارها (Toche et al., 2010)، ولذلك يوصى دائماً باستكمال أى اعتبارات عملية عند إختيار نهج الإختبار بالرؤى العلمية المكتسبة من إستكشاف سابق لنتائج فعلية تم تحقيقها.

٣-٣- دعم فريق المختبرين بمستخدمين حقيقيين:

يعد ضمان صلاحية الإختبار أمراً بالغ الأهمية، وتلعب دعوة المشاركين المناسبين دوراً مهماً فى تحقيق هذا الهدف؛ فمن الضرورى إشراك مستخدمين حقيقيين بدلاً من الإعتماد فقط على أعضاء فريق المنتج كونهم مستخدمين افتراضيين، كما يساعد هذا النهج فى منع التحيزات، ويضمن أن المختبرين يمثلون نطاقاً أكثر تنوعاً من الأفراد من قاعدة المستخدمين، إذا

كان لدى المصمم منتج موجود بالفعل، فقد يكون استخدام المستخدمين الحاليين للإختبار أمراً مناسباً، وبذلك يمكن ضمان أن النتائج التى تم الحصول عليها هى تمثيلات دقيقة لكيفية تفاعل المجموعات المختلفة مع المنتج/النظام/الخدمة.

وإذا كان المصمم يستكشف طرقاً لتحسين الميزات الحالية، فسيكون من المفيد إشراك المستخدمين الذين يمتلكون معرفة وخبرة سابقة بها، على العكس من ذلك، إذا كان هدفك هو إثبات فكرة ميزة جديدة فمن المستحسن تجنيد المستخدمين الذين يمكنهم تقديم ملاحظات ذات صلة وفقاً لمتطلباتهم أو تفضيلاتهم (Gibson et al., 2004)، ولتجميع المشاركين لجلسات الإختبار، يستخدم المصمم الرسائل داخل أى تطبيق مثل اللافتات أو النماذج كإستراتيجية مستحدثة، ويمكن أن يؤدى التوسع البحثى فى هذه الأساليب إلى تعزيز كفاءة مشاركة المستخدم، وإنشاء رؤى أكثر قوة حول سلوك المستخدم داخل نموذج تطبيقى لإختبار تجريبى.

٣-٤- تحويل الإحصاءات التجريبية إلى إجراءات فعلية:

بعد الإنتهاء من إختبار المستخدم، فإن الخطوة التالية هى التوسع فى النتائج التى تم الحصول عليها من خلال تحليلها بشكل نقدي وموضوعى، ويلعب هذا التحليل المتعمق دوراً محورياً فى إكتساب الرؤى ذات الصلة واتخاذ قرارات مستنيرة تؤدى إلى تحسين المنتج، ومن خلال الجمع بين النتائج من إختبار المستخدم والمعرفة الحالية والرؤى المكتسبة من خلال البحث، يمكن للمصمم إكتساب فهم شامل لإحتياجات المستخدمين وتفضيلاتهم، مما سيمكنه من إجراء تحسينات استراتيجية تعزز تجربتهم المستقبلية.

بدأت المؤسسات فى استخدام هذه الإختبارات المعدلة لإلتقاط بيانات مختلفة تخص دورة حياة المنتج، وتقديم الإختبار فى وقت سابق أو لاحقاً فى عملية التطوير، فى نهاية الأمر أدى تطور الإختبارات التجريبية إلى تقديم العديد من الأنواع المختلفة من اختبارات المنتجات وعرضها، وهي كالتالى:

الإصدار التجريبى الخاص أو المغلق: يتضمن مجموعة محدودة من المستخدمين المختارين الذين يختبرون المنتج المستهدف، بهدف جمع التعليقات، وتحديد الأخطاء، وتحسين تجربة المستخدم الكلية.

الإصدار العام أو الإصدار التجريبى المفتوح: يسمح لجمهور أكبر بإختبار المنتج، مما يساعد فى العثور على أى مشكلات متبقية وجمع البيانات حول أنماط الاستخدام قبل الإصدار النهائى للسوق.

برنامج الإختبار العملى: وهو نهج مستمر للإختبار التجريبى، ويهدف إلى جمع التعليقات على تحديث أو إصدار لجمع التعليقات قبل نشرها فى الإنتاج الكمى.

الإصدار التجريبى التقنى أو ألفا: وهو مرحلة مبكرة من الإختبار، وعادة ما يتم إجراؤها بواسطة فريق التطوير أو مجموعة من المستخدمين التقنيين، مع التركيز على تحديد الأخطاء الحرجة والتحقق من صحة الوظائف.

إختبار تجريبى داخلى أو تطبيق تجريبى داخلى: يتم إجراؤه داخل المؤسسة، ويشمل الموظفين الذين يختبرون المنتج لتقديم ملاحظات، وكشف المشكلات، وإكتساب رؤى أعمق حول الإستعمالية قبل مشاركة المستخدمين الفعليين.

الإصدار التجريبى المستهدف: يركز على ميزات أو تحديثات أو حالات استخدام محددة، وإختبارها مع مجموعة مختارة من المستخدمين الذين لديهم خبرة ذات صلة أو يمثلون الجمهور المستهدف.

إختبار تجريبى حقيقى: يقيّم أداء المنتج وإستقراره فى ظل عملية الاستخدام الكثيف أو ظروف صعبة وبيئة غير مهيئة، مع تحديد أى إخفاقات أو نقاط فشل محتملة.

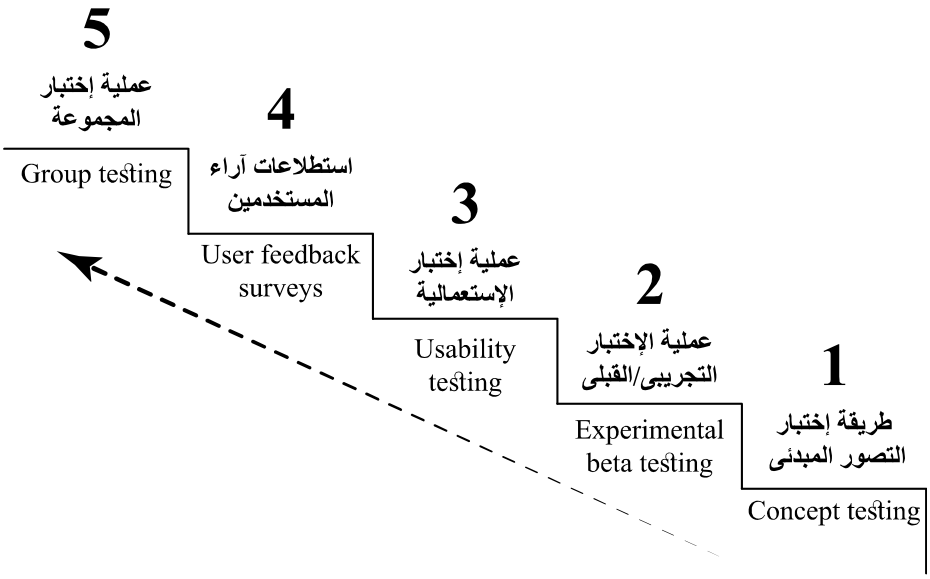
فمن الهام التأكيد على أهمية اتخاذ إجراءات ملموسة وليس فقط جمع المعلومات القيمة بناءاً على نتائج التحليلات للمعلومات ولكن ضرورة التأكيد على مدى أهمية إكمال حلقة التغذية الراجعة Feedback هذه بشكل فعال؛ فإن إهمال هذه المنظورات

القيّمة يمكن أن يجعل جميع الجهود السابقة غير مجدية ويعيق فرص التنمية والتطور، لذلك يجب على الأفراد التأكد من أنهم يستخدمون معارفهم المكتسبة مؤخراً بمهارة، وتطبيق التعديلات بناءً على النتائج التى توصلوا إليها بطريقة علمية مدروسة (Anitha et al., 2001)، ويمهد هذا النهج الطريق نحو تحقيق تقدم ذى مغزى بشأن النتائج أو الأهداف المرجوة فى أى مجال أو صناعة معينة، يعد اتخاذ إجراء بناءً على رؤى إختبار المستخدم أمراً بالغ الأهمية لدفع تحسين المنتج وتحقيق تقدم هادف.

٤- فاعلية الإختبار التجريبى فى تشكيل ممارسات تصميمية أكثر إستدامة:

تعد مراحل الإختبار التجريبى/القبلى أداة قوية لتشكيل ممارسات تصميم أكثر إستدامة، من خلال إختبار التصميمات ونماذج المنتجات الجديدة فى سيناريوهات العالم الحقيقى، ويمكن للمصممين جمع بيانات قيمة عن التأثير البيئى لإبداعاتهم، من خلال الإختبار التجريبى للتصميم، كما يمكن للمصممين تحديد المجالات التى يمكنهم فيها تقليل النفايات وزيادة الكفاءة وجعل منتجاتهم أكثر إستدامة بشكل عام، ويسمح الإختبار التجريبى للمصممين بجمع التعليقات من المستخدمين حول التطبيق العملى ووظائف ميزات التصميم المستدام (Kechagias, 2007)، يمكن أن تكون ملاحظات المستخدم عامة فى إتخاذ قرارات التصميم التى توازن بين الإستدامة وجودة المنتج.

وللحصول على معلومات مفيدة وقيمة من إختبار نموذج المنتج، من الضرورى إختيار منهجية مناسبة واستخدام التقنيات التى تحقق الأهداف، كما يمكن أن يؤدى إجراء تقييم شامل لنماذج المنتجات إلى رؤى أعمق حول نقاط القوة والضعف فيها، والتى يمكن إستخدامها بعد ذلك لتحسين الجودة الشاملة للعروض، ويعد الإختيار الدقيق لطرق الإجراءات الخاصة بالإختبارات أمراً حيوياً فى الحصول على نتائج موثوقة تعتمد على البيانات تساعد المصممين فى اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن نماذج منتجاتها، وبالتالى، فإن تكريس الوقت والموارد لتطوير خطط إختبار فعالة يمكن أن يحقق فوائد كبيرة للشركات التى تبحث عن فرص للنمو مع تحسين معدلات رضا المستخدمين فى الوقت نفسه من خلال منتجات عالية الجودة، ويوضح شكل (٣) الخطوات الأساسية المُستخدمة فى منهجية الإختبار التجريبى للتصميم، والتى تتم للنماذج الأولية للمنتج بشكل قبلى.



شكل (٣) الخطوات الأساسية لتحقيق منهجية الإختبار التجريبى للتصميم

٤-١- طريقة إختبار التصور المبدئى Concept testing:

يعد إختبار التصور المبدئى مرحلة حرجة تحدث خلال المراحل الأولية لتصميم المنتج، والهدف الرئيسى هو تقييم الأفكار والتحقق من صحتها من خلال تعريضها للمستخدمين الفعليين، سواء الحاليين المختبرين أو المحتملين المستقبليين، وتهدف هذه العملية إلى إستكشاف سلوكيات المستخدم المختلفة وتفضيلاته ومواقفه تجاه التصورات المقترحة بعمق أكبر، كما يتضمن بحثاً مكثفاً حول إحتياجات السوق المستهدفة ورغبات المستخدم (Amer & Dawood, 2020)، مع دمج التعليقات فى نفس الوقت من مجموعات متنوعة من الأفراد بمستويات متفاوتة من الخبرة باستخدام نماذج منتجات مماثلة، من خلال إختبار التصور المبدئي، ويمكن للمصممين تحسين نماذجهم الأولية بناءً على رؤى العالم الحقيقى المكتسبة من تفاعلات المستخدم مع نماذج تصميمات المرحلة المبكرة، وتعتبر هذه التحسينات ضرورية لأنها تضمن أن الأفكار القابلة للتطبيق فقط تتقدم أكثر على طول مراحل عملية التصميم مع تقليل وقت التطوير بالإضافة إلى التكاليف المرتبطة به؛ بالإضافة إلى التحقق من صحة التصورات الأولية للجدوى والاستحسان بين المستخدمين (Maropoulos & Ceglarek, 2010)، وتتيح هذه الطريقة أيضاً للمطورين تحديد المجالات التى تتطلب التحسين قبل بدء الإنتاج الكمى؛ فبشكل عام يلعب إختبار المفاهيم دوراً أساسياً فى ضمان إطلاق منتج ناجح من خلال توفير رؤى قيمة قائمة على البيانات لتوقعات المستخدمين فى وقت مبكر من مرحلة التطوير وبالتالى المساعدة فى اتخاذ قرارات تصميم مستنيرة.

أيضاً لتحقيق إنجاز جدير بالملاحظة وفعال، يلجأ المصممين فى كثير من الأحيان إلى تطوير نماذج أولية عالية الدقة من خلال تقنيات مختلفة مثل الرسم أو صياغة النماذج الأولية، ويمكن إنشاء طرق التصميم الأساسية هذه بسرعة بمساعدة برامج النماذج الأولية المتخصصة، والسماح بإجراء تعديلات فورية على التصور الأساسى للمنتج، كما تسهل هذه العملية الإستكشاف الشامل لكل تكرار، مما يضمن صقل كل جانب بدقة حتى يفى بالمواصفات الدقيقة مع تعزيز معايير الجودة الشاملة فى نفس الوقت، وينتج عن هذا الإهتمام الدقيق الذى يتم توجيهه إلى تحسين التصميمات نهجاً أكاديمياً سليماً لتحقيق النجاح فى مساعى المصمم المهنية (Tiainen et al., 2014).

وتتمثل إيجابيات إختبار التصور المبدئى فى أن استخدام إختبار المفهوم فى المراحل الأولى من تطوير الفكرة أنه يساعد فى استبعاد التصورات والأفكار غير العملية، ومنها تحديد أولويات تلك التى لديها احتمالية أعلى للنجاح، كما يعزز هذا النهج الفهم فيما يتعلق بمتطلبات المستخدم، مما يؤدى إلى تحسين القدرة على اتخاذ القرار للمبادرات المستقبلية، بغض النظر عما إذا كانت الفكرة قد تمت الموافقة عليها أم لا؛ فيسمح بإزالة الأفكار التى لن تعمل مبكراً دون الإستثمار فى تطويرها، ويساعد إختبار التصور المبدئى على تحديد أولويات الأفكار التى لديها فرصة قوية للنجاح.

وتكون سلبيات إختبار التصور المبدئى أنه يتوقف نجاح الحل المختار على نماذج أولية منخفضة الدقة، مما يترك مجالاً لعدم اليقين التام للمصمم، كما يتطلب الحصول على رؤى قابلة للتنفيذ قدرات مقابلة بارعة وتقنيات ملائمة محددة جيداً وموجهة وفعالة.

٤-٢- عملية الإختبار التجريبى/القبلى Experimental/beta testing:

تتضمن عملية الإختبار التجريبى/القبلى إطلاق إصدار مبكر من نموذج منتج أو خدمة لمجموعة صغيرة من المستخدمين، وذلك للحصول على تعليقات قبل طرحها للمستخدمين بشكل عام، وتتيح هذه العملية للمصممين تحديد الأخطاء والمشكلات وإصلاحها قبل إطلاق المنتج أو الخدمة بالكامل، مما قد يوفر الوقت والموارد بشكل كبير، وتعد عملية الإختبار التجريبى للتصميم مرحلة حاسمة فى تطوير المنتج (Nada & Dawood, 2022)، وتعد تلك العملية طريقة فعالة لتقليل الأخطاء وتوفير الوقت والموارد من خلال إطلاق إصدار مبكر من منتج أو خدمة لمجموعة محدودة من المستخدمين لأغراض

التعليقات قبل الإصدار الرسمى، وفى الإختبارات التجريبية، تختبر الحلول مع مستخدمين حقيقيين لتقييم ما إذا كانت جاهزة للإطلاق ولتحديد الأخطاء والمجالات التى تحتاج إلى تحسين.

وأثناء مرحلة الإختبار التجريبى، يجب على المصمم إجراء تقييم شامل للحلول المحتملة من خلال الانخراط مع المستخدمين الفعليين لتحديد مدى استعدادهم للإطلاق الفعلى للمنتج؛ فلا تعمل هذه العملية كإجراء لضمان الجودة فقط، بل تساعد أيضاً فى تحديد الأخطاء والمجالات التى تتطلب التحسين قبل النشر الفعلى، وذلك من خلال التحليل الشامل لملاحظات المستخدم وسلوكه، كما يمكن للمصممين ضمان رضا المستخدم الأمثل وزيادة احتمالية نجاح المنتج، ويعتبر كل من إختبار التصور المبدئى وعمليات الإختبار التجريبية/القبلية أمراً حيوياً فى تطوير المنتج لضمان أن المنتج النهائى يلبى إحتياجات وتوقعات المستخدم (HALL, 2001).

وتتضمن إيجابيات الإختبار التجريبى تفاعل المنتج مع المستخدمين الفعليين فى إطار عملى يجعل التقييم واقعياً؛ وتعد هذه العملية مفيدة فى تحديد الأخطاء التصميمية التى ربما لم يتم ملاحظتها أثناء إجراءات ضمان الجودة (Dawood, 2021b)، كما أنه يوفر معلومات قيمة فى المجالات التى تتطلب التحسين والمشكلات التى لم تكن معروفة من قبل لفريق المصممين، ويمكن أن يؤدى رضا مختبرى الإصدارات التجريبية للنماذج إلى تسويق شفهى فعال لتعزيز نجاح المنتج.

وتعد سلبيات الإختبار التجريبى القبلى أنه عندما يقوم المستخدم بإختبار المنتج فى الحياة الواقعية، لا يمكن التحكم فى مؤثرات بيئة الإختبار الفعلية المحيطه، نظراً لأن المنتج يخضع لإختبار المستخدم الواقعى، كما أن عملية تحديد المستخدمين المناسبين تشكل للإختبار تحدياً كبيراً، لا سيما عند إنشاء قاعدة مستخدمين من الصفر، وغالباً ما يكون العثور على المستخدمين المناسبين أمراً صعباً، خاصةً إذا كنت تبنى قاعدة مستخدمين فقط.

تتضمن عملية الإختبار التجريبى إطلاق إصدار مبكر من منتج أو خدمة لمجموعة صغيرة من المستخدمين للحصول على تعليقات قبل طرحها للمستخدمين على نطاق أوسع، ويساعد هذا المصممين على تحديد الأخطاء والمشكلات، مما قد يوفر الوقت والموارد، من خلال الحصول على تعليقات قيمة من تجارب المستخدم الواقعية، ويمكن للمصممين من خلالها تحسين المنتج النهائى، ويعتبر الإختبار التجريبى واقعياً لأن المستخدمين الفعليين يتفاعلون مع المنتج فى الحياة الواقعية؛ فعلى الرغم من أن العثور على مستخدمين مناسبين يمثل تحديات كبيرة، إلا أنه يمكن أن يكتشف أخطاء النموذج التصميمى التى قد تكون مرت دون أن يلاحظها أحد أثناء إجراءات ضمان الجودة (Boehm et al., 1984)، ويحدد المجالات التى تتطلب التحسين والمشكلات غير المعروفة سابقاً مع الحد من التداعيات فى حالة حدوث نتائج غير ناجحة.

٤-٣- عملية إختبار الإستعمالية Usability testing:

يستلزم إختبار الإستعمالية عادةً تتبع كيفية إدارة المستخدمين لإكمال مهمة ما، ويتضمن هذا الإختبار مراقبة وتحليل كيفية تفاعل المستخدمين مع منتج أو نظام لتقييم الإستعمالية وفعاليتها وخبرة المستخدم بوجه عام، وتتضمن هذه العملية عادةً مهاماً مصممة لقياس قدرة المستخدم على تحقيق أهداف محددة فى سياق معين، من خلال مراقبة هذه التفاعلات عن كثب، كما يمكن للمصممين اكتساب رؤى قيمة فى مجالات التحسين وفهم أفضل لكيفية تأثير قرارات التصميم على خبرة المستخدم النهائى (Nada & Dawood, 2023)، ويعد إجراء إختبار شامل لمفهوم الإستعمالية أمراً بالغ الأهمية لضمان أن تكون المنتجات بديهية وفعالة لمستخدميها المستهدفين.

وللحصول على فهم شامل لسلوك المستخدم أثناء الإختبار، يوصى بتبنى نهج متعدد الأوجه، ويستلزم ذلك استخدام أدوات مختلفة جنباً إلى جنب للحصول على أفضل النتائج؛ فعلى سبيل المثال، يعد تتبع تفاعلات المستخدم ومراقبة استكمال الهدف من المكونات الرئيسية التى يجب زيادتها من خلال تسجيلات الجلسة لتحديد نقاط التفاعل المحتملة مع نموذج المنتج بشكل

فعال (Exner et al., 2016)، ومن خلال دمج هذه التكتيكات المتنوعة فى عملية تحليل الإختبار، يمكن للمختبرين الحصول على رؤية معقدة لإجراءات المستخدم وتفضيلاته، والتى ستؤدى فى النهاية إلى تحسين تصميم المنتج وتعزيز رضا المستخدمين بشكل عام.

وتكون إيجابيات إختبار الإستعمالية فى إمكانية أن يؤدى إجراء تقييم غير متحيز لبداهة المنتج إلى توليد وجهات نظر جديرة بالملاحظة فيما يتعلق بأوجه القصور فى الإستعمالية، وتسهيل التقدم فى تجربة المستخدم استناداً إلى أنماط السلوك التى تمت ملاحظتها.

ولعل أبرز سلبيات إختبار الإستعمالية تتمثل فى كون إجراء جلسات الإختبار شاقاً للغاية لأنها تتطلب مراقبة المستخدمين فى الوقت الفعلى، وغالباً ما تكون نتائج هذه الإختبارات معقدة ويصعب فحصها وتفسيرها بسبب العديد من المتغيرات، بما فى ذلك الإعداد الذى يتم فيه إجراء التقييم.

فيعد إختبار الإستعمالية مكوناً مهماً فى تصميم المنتج لأنه يوفر نظرة ثاقبة حول كيفية تفاعل المستخدمين مع نموذج المنتج المقترح (Dawood, 2017)، ويمكن أن يوجه المصممين نحو تحسين خبرة المستخدم، وتتضمن عملية إختبار الإستعمالية تحليل تفاعلات المستخدم مع المنتج لتقييم سهولة استخدامه وفعاليته فى تحقيق أهداف محددة.

٤-٤- استطلاعات آراء المستخدمين User feedback surveys:

يعد إجراء استطلاعات آراء المستخدمين جانباً مهماً فى أى استراتيجية إختبار شاملة، لا سيما تلك المصممة لجمع البيانات النوعية، ولا تقدم هذه الاستطلاعات رؤى قيمة حول كيفية إدراك المستخدمين لمنتجك أو خدمتك وتفاعلهم معها فقط، ولكنها توفر أيضاً فرصة للشركات لاكتساب فهم أعمق لإحتياجات عملائها وتفضيلاتهم (Ahmed et al., 2022)، ومن خلال إستكشاف الفروق الدقيقة فى هذه الاستجابات، يمكن للشركات تحسين نماذج المنتجات، وإنشاء حلول أكثر تفصيلاً تلبى المتطلبات الفريدة لمستخدميها المستهدفين، لذلك يجب على المؤسسات دمج استطلاعات آراء المستخدمين فى مجموعة أدواتهم أثناء استمرارهم فى تحسين نماذج منتجاتهم بمرور الوقت .

وأثناء السعى لتعزيز فهم سلوك المستخدم، قد يكون الاعتماد فقط على بيانات استخدام المنتج والاستطلاعات الكمية غير كافٍ لأنها توفر فقط ملاحظات على مستوى مبسط وظاهري، وعلى الرغم من أن هذه الطرق تمكنك من اكتشاف الأنماط وتحديد المشكلات المحتملة، إلا أنها قد تفشل فى الكشف عن الأسباب الأساسية التى تحفز المستخدمين على اتخاذ الإجراءات الفعلية، وذلك للحصول على فهم أعمق لسلوكهم؛ فمن الضرورى استخدام أسئلة مفتوحة تسمح للمستخدمين بالتعبير عن أنفسهم بحرية دون قيود أو افتراضات محددة مسبقاً، عندها فقط يمكنك الوصول إلى رؤى قيمة حول سبب تصرفهم بطريقة معينة والتى ستساعد فى تشكيل استراتيجيات فعالة لتحسين مشاركة المستخدم وتجربته.

وتتمثل إيجابيات استطلاعات آراء المستخدمين فى إنها تساعد المصمم على فهم سبب تصرف المستخدمين بطريقة معينة وما يتوقعونه من نماذج المنتج، وتمكّن الاستطلاعات التى يتم تشغيلها حسب السياق من جمع رؤى المستخدمين ذات الصلة فى اللحظة التى يتفاعلون فيها مع النموذج، ويمكن للمصمم استخدام تجزئة مجموعة المستخدمين لاستهداف عينة محددة بدقة لضمان عينة تمثيلية، وإنها توفر للمصمم رؤى خاصة حول كيفية عرض المستخدمين للمنتج واللغة التى يستخدمونها للتحدث عنه (Nambisan, 2002)، والتى يمكنك استخدامها لمزيد من البحث أو تصميم نسخة تسويقية مقنعة، ويساعد فى الكشف عن المشكلات التى ربما لم تحدث من قبل.

وسلبيات استطلاعات آراء المستخدمين فى صعوبة تصميم أسئلة الاستطلاع التى يمكنها غالباً توليد ردود الفعل المرغوبة من قبل المصمم، كما أنه غالباً ما قد تكون البيانات المستمدة من معدلات الاستجابة المنخفضة ومشوهة وغير منظمة، فى

حين أن المعلومات غير الكافية المقدمة من قبل المستخدمين يمكن أن تعرقل النتائج القابلة للتنفيذ، ولتحقيق إختبار شامل، تعد متابعة المقابلة وتكرارها ضرورية بسبب إحتمالية نقص الوعى لدى المستخدمين فيما يتعلق بأفعالهم أو أفكارهم والتناقضات المحتملة مع تفاعلات الواقع الذى قد يؤدى إلى تغيير النتائج.

إلا أنه تظل استطلاعات آراء المستخدمين أداة مهمة للحصول على البيانات النوعية التى يمكن أن توفر رؤى قيمة حول تصورات المستخدمين وتفاعلاتهم مع نماذج المنتجات أو الخدمات، ومن خلال دمج هذه الاستطلاعات فى استراتيجيات إختبار شاملة، يمكن للمؤسسات اكتساب فهم أعمق لإحتياجات مستخدميهم وتفضيلاتهم، وتحسين نماذج منتجاتهم، وإنشاء حلول مخصصة تلبى المتطلبات الفريدة لمستخدميها المستهدفين؛ فإن الأسئلة المفتوحة فى استطلاعات آراء المستخدمين تمكن المؤسسات من الحصول على فهم أعمق لسلوك المستخدم من البيانات الكمية وحدها.

٤-٥- عملية إختبار المجموعة Group testing:

يعد إختبار المجموعة طريقة هامة ومستخدمة على نطاق واسع من قبل مصممى المنتجات لتقييم فعالية الميزات المختلفة للنماذج، ويتضمن هذا النهج تقسيم المستخدمين إلى مجموعات مميزة، وتعريض كل مجموعة إلى تكرار منفصل أو إصدار من النموذج قيد الفحص، مثل تصميمات نماذج منتجات صناعية وتفاعلية؛ فالهدف النهائى من هذه العملية هو مراقبة كيفية تفاعل المستخدمين مع كل نموذج إصدار تجريبى، وتحديد أى منها يولد التحويلات المثلى، ومن خلال تحليل سلوك المستخدم عبر إصدارات نماذج متعددة، يمكن لفرق المنتج اكتساب رؤى عميقة حول تفضيلات المستخدمين، ونقاط الضعف والتوقعات وأنماط الاستخدام التى تلعب دوراً أساسياً فى دفع التحسينات المستقبلية (Dawood, 2021a)؛ فهى بمثابة أداة لا تقدر بثمن لتقييم تعليقات المستخدمين خلال مراحل التطوير قبل إطلاق النموذج النهائى فى بيئات الإنتاج الكمية، وبالتالى مساعدة الشركات على تطوير المنتجات التى تلبى إحتياجات عملائها بشكل أكثر فعالية من أى وقت مضى.

ولتحقيق أقصى قدر من فعالية الإختبارات الجماعية، من الضرورى إختبار كل متغير بنهج شامل، مع التركيز على جانب واحد فى كل مرة، مثل التحويلات من الإصدار التجريبى إلى الإصدار النهائى المدفوع من خلال نماذج تطبيقية ناتجة عن دراسة متأنية وتنفيذاً دقيقاً؛ فمن الضرورى مقارنة تصميمين للشكل العام أو الوظيفة للنموذج المستهدف وعزل جميع العوامل الأخرى عن التأثير على النتائج، بينما تسمح مجموعات المستخدم التجريبى بإختبار التجارب داخل بيئة فعلية مقابل أهداف محددة، إلا أن هناك قيوداً عند مقارنة عناصر التصميم المختلفة مثل النماذج مقابل الأدوات دون إجراء تجارب منفصلة، كما يمكن أن يوفر التعمق فى إختبار المجموعة من خلال تحديد المتغيرات الفردية رؤى هامة ستمكن المصمم من اتخاذ قرارات مستنيرة حول تحسينات المنتج المستقبلية بناءً على النتائج المستندة إلى البيانات بدلاً من الحدس وحده.

وتكون إيجابيات إختبار المجموعة فى إنها بمثابة وسيلة فعالة لإختيار التكرار النهائى، خاصة بعد الحد من الخيارات، ويصبح إجراء الإختبارات الجماعية أقل تعقيداً عندما يكون هناك منتج وقاعدة مستخدم نشط بالفعل، مما يقلل من احتمالية إطلاق بديل غير فعال.

وسلبيات إختبار المجموعة فى أنه يوجد خطر محتمل يتمثل فى إبعاد نسبة كبيرة من مجتمع المستخدمين فى حالة ثبوت أن أحد الاختلافات لا يحظى بشعبية كبيرة داخل مجموعة المختبرين، وفى المواقف التى تنطوى على العديد من العوامل، يمكن أن يؤدى إجراء تجارب متعددة إلى استهلاك قدر كبير من الوقت.

ويعد إختبار المجموعة نهجاً فعالاً للغاية لتقييم فعالية الميزات المختلفة التى يتم فيها تقسيم المستخدمين إلى مجموعات متميزة، وذلك بعرضهم لإصدارات أو تكرارات منفصلة لميزة لتحديد أى منها يولد التحويلات المثلى، وتوفر هذه العملية رؤى عميقة حول تفضيلات المستخدمين، ونقاط الضعف، وأنماط الاستخدام التى تؤدى إلى تحسينات المنتج فى المستقبل،

ولضمان دقة إختبار المجموعة من المهم إختبار كل متغير بشكل شامل (Łukaszewicz & Niechoćko, 2019)، وذلك من خلال عزل جميع العوامل الأخرى التى يمكن أن تؤثر على النتائج النهائية، ويمكن أن تكون مقارنة الأشكال المتعددة فى وقت واحد معقدة وتستغرق وقتاً طويلاً، لذلك من المهم التعامل مع إختبار المجموعة بخطة شاملة وتنفيذ دقيق.

ومن كل ماسبق فإن عمليات الإختبار التجريبى تعد أداة فعالة لتشكيل ممارسات التصميم المستدام من خلال تحديد المجالات التى يمكن فيها تقليل النفايات وزيادة الكفاءة وجعل نماذج المنتجات أكثر إستدامة، كما يساعد إختبار التصورات المبدئية للمصممين على تحسين النماذج الأولية استناداً إلى رؤى العالم الواقعى من المستخدمين، وكذلك استبعاد التصورات غير العملية وتحديد أولويات تلك التى لديها احتمالية أعلى للنجاح، يتضمن الإختبار التجريبى إطلاق إصدار مبكر لمجموعة صغيرة من المستخدمين لأغراض التعليقات قبل الإصدار الرسمى بينما يعمل إختبار الإستعمالية على تقييم سهولة استخدام المنتج وخبرة المستخدم الإجمالية، كما توفر استطلاعات آراء المستخدمين بيانات نوعية تعطى رؤى قيمة حول كيفية إدراك المستخدمين للمنتجات أو الخدمات وتفاعلهم معها، بينما تقوم إختبارات المجموعة بتقسيم المستخدمين إلى مجموعات معرضة لتكرارات مختلفة أو إصدارات من الميزات قيد التدقيق لتحديد التحويلات المثلى، لضمان نتائج دقيقة فى إختبار المجموعة؛ فمن المهم إختبار كل متغير بشكل شامل من خلال عزل جميع العوامل الأخرى التى قد تؤثر على النتيجة بدقة.

٥- نتائج البحث:

■ دمج استراتيجيات الإختبار التجريبى للتصميمات المختلفة سيؤدى بالضرورة إلى فهم أكثر شمولاً لتفضيلات المستخدم وأنماط الاستخدام، ونجاح النموذج التجريبى للمنتج، ومنها تحسين دورة حياة المنتج كاملة.

■ من خلال استخدام استراتيجيات إختبار مختلفة مثل الإختبار التجريبى وإختبار المفهوم وإختبار الإصدار التجريبى وإختبار الإستعمالية واستطلاعات آراء المستخدمين جنباً إلى جنب مع إختبار المجموعة، يمكن اكتساب فهم شامل لتفضيلات المستخدم ونقاط التفاعل وأنماط الاستخدام لدفع تحسينات المنتج المستقبلية.

■ يؤدى هذا النهج التجريبى إلى ممارسات تصميم مستدامة تقلل من النفايات وتزيد من الكفاءة، مما يجعل المنتجات أكثر ملائمة للبيئة؛ فمن خلال نهج دقيق وشامل للإختبار التجريبى، يمكن للمصممين اكتساب رؤى عميقة حول كيفية إدراك المستخدمين للإصدارات المختلفة من ميزات المنتج والتفاعل معها، مما يسمح لهم بتحسين التحويلات وزيادة رضا المستخدم.

■ تبدأ عملية الإختبار التجريبى للتصميم بتحسين النماذج الأولية استناداً إلى رؤى العالم الحقيقى من المستخدمين متبوعاً بإصدار نموذج مبكر لمجموعة صغيرة من المستخدمين لأغراض التعليقات قبل الإصدار الرسمى، ويقيّم إختبار الإستعمالية سهولة استخدام المنتج وتجربة المستخدم الإجمالية، بينما توفر استطلاعات آراء المستخدمين بيانات نوعية قيّمة.

■ يساعد إختبار التصورات المبدئية المصممين على تحديد أولويات الأفكار التى لديها احتمالية أعلى للنجاح واستبعاد المفاهيم غير العملية لعملية تصميم أكثر كفاءة وإستدامة، ولا يؤدى دمج كل طرق الإختبار هذه إلى تحسين المنتجات وزيادة رضا المستخدمين فقط، بل يؤدى أيضاً إلى عملية تصميم أكثر صداقة للبيئة من خلال تقليل الفاقد وزيادة الكفاءة.

٦- الخلاصة:

إن التحقق من فعالية منتج أو خدمة من خلال الإختبار أمر حاسم بلا شك فى عملية التصميم الخاصة به، ومع ذلك ينبغى النظر إلى هذا الجانب على أنه مجرد جانب واحد من نهج شامل يشمل عوامل متنوعة مثل ممارسات التصميم المستدام وردود الفعل من المستخدمين، من خلال نشر تقنيات إختبار مختلفة ودمج تعليقات المستخدمين فى تصميماتهم، يمكن للمصممين تصميم نماذج منتجات ليست فعالة من الناحية التشغيلية فقط، بل أيضاً مسؤولة بيئياً مع تلبية إحتياجات مستخدميهم

المستهدفين فى نفس الوقت، وبالتالى، يصبح من الضرورى التفكير فى كل بُعد يتعلق بصياغة نموذج منتج أو تقديم خدمة، وتشمل تقييماً وتحليلاً شاملين لكل من الفوائد والتكاليف على حد سواء، وسيضمن ذلك أن المنتج النهائى ليس بجودة عالية فقط بل يفى أيضاً بالغرض المقصود منه مع كونه مستداماً بيئياً؛ فمن خلال جمع وتحليل ملاحظات المستخدمين بشكل مستمر، يمكن للمصممين العمل على إنشاء منتجات فعالة بشكل كبير، وقد تتجاوز توقعات المستخدمين أيضاً، مما يؤدى إلى زيادة رضا المستخدمين وولائهم، وسيؤدى هذا فى النهاية إلى نتائج أعمال أفضل واستمرار النجاح فى السوق، وباختصار يعتمد نجاح المنتج أو الخدمة على عدة عوامل، بما فى ذلك ممارسات التصميم الفعالة، والنهج المستدامة، وتعليقات المستخدمين، يعد تحسين عملية التصميم من خلال حلقات الإختبار والتغذية الراجعة أمراً ضرورياً لضمان تلبية المنتجات لتوقعات المستخدم، واستدامتها بيئياً، ودفع نجاح دورة حياة المنتج.

٧- مراجع البحث:

1. Ahmed, ElSamany AbdElmoteleb, Dawood, Mina Eshaq Tawfilis, & Ebrahim, Omar Mohamed Ahmed. (2022). Ergonomics For Upgrading User Experience and Improve Usability. *Alqulzum Scientific Journal*, *13*. Article 5. 93-110.
2. Amer, Ayman Mouhamed Afifi, & Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2020). Robot Ergonomics: A cognitive scenario of the new Behavioral Objects. *International Design Journal, 10*(3). Article 26. 319-331. DOI: 10.21608/idj.2020.96353.
3. Ameri, F., & Dutta, D. (2005). Product Lifecycle Management: Closing the knowledge loops. *Computer-Aided Design and Applications*, *2*(5), 577–590. https://doi.org/10.1080/16864360.2005.10738322
4. Anitha, R., Arunachalam, S., & Radhakrishnan, P. (2001). Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling. *Journal of Materials Processing Technology*, *118*(1–3), 385–388. https://doi.org/10.1016/s0924-0136(01)00980-3
5. Bao, Q., Faas, D., & Yang, M. (2018). Interplay of sketching & prototyping in early stage product design. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, *6*(3–4), 146–168. https://doi.org/10.1080/21650349.2018.1429318
6. Barbieri, L., Angilica, A., Bruno, F., & Muzzupappa, M. (2013). Mixed prototyping with configurable physical archetype for usability evaluation of product interfaces. *Computers in Industry*, *64*(3), 310–323. https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.11.010
7. Bauer, M. D., Siddique, Z., & Rosen, D. W. (1998). Virtual prototyping in simultaneous product/process design for disassembly. *Rapid Response Manufacturing*, 141–175. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6365-5_8
8. Berglund, A., & Grimheden, M. (2011). The importance of prototyping for education in product innovation engineering. In *ICORD 11: Proceedings of the 3rd International Conference on Research into Design Engineering, Bangalore, India, 10.-12.01. 2011*.
9. Boehm, B. W., Gray, T. E., & Seewaldt, T. (1984a). Prototyping versus specifying: A Multiproject experiment. *IEEE Transactions on Software Engineering*, *SE-10*(3), 290–303. https://doi.org/10.1109/tse.1984.5010238
10. Boehm, B. W., Gray, T. E., & Seewaldt, T. (1984b). Prototyping versus specifying: A Multiproject experiment. *IEEE Transactions on Software Engineering*, *SE-10*(3), 290–303. https://doi.org/10.1109/tse.1984.5010238

11. Brundage, M. P., Bernstein, W. Z., Hoffenson, S., Chang, Q., Nishi, H., Kliks, T., & Morris, K. C. (2018). Analyzing environmental sustainability methods for use earlier in the product lifecycle. *Journal of Cleaner Production*, *187*, 877–892. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.187

12. Camburn, B., Dunlap, B., Gurjar, T., Hamon, C., Green, M., Jensen, D., Crawford, R., Otto, K., & Wood, K. (2015). A systematic method for Design Prototyping. *Journal of Mechanical Design*, *137*(8). https://doi.org/10.1115/1.4030331

13. Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2017). *4D Ergonomics Modeling in the Interaction Design field*. Unpublished Master Thesis. Arab Republic of Egypt: Faculty of Applied Arts, Helwan University.

14. Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2021). Robot Ergonomics: Giving the Behavioral Objects a dynamic presence. *International Design Journal, 11*(5). Article 23. 293-304. DOI: 10.21608/idj.2021.191705.

15. Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2021a). *The Impact of Interaction Design in Innovating a Scenario of Robot Ergonomics*. Unpublished Ph.D. Thesis. Arab Republic of Egypt: Faculty of Applied Arts, Damietta University.

16. Elgazzar, Mahmoud Ahmed Gouda, & Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2023). Usability: Improving UI/UX in Design by challenges of Materials Innovations. *International Design Journal, 13*(1). Article 3. 37-56. DOI: 10.21608/IDJ.2023.276010.

17. Exner, K., Damerau, T., & Stark, R. (2016). Innovation in product-service system engineering based on early customer integration and prototyping. *Procedia CIRP*, *47*, 30–35. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.084

18. Fu, Y.-L., Liang, K.-C., Song, W., & Huang, J. (2022). A hybrid approach to product prototype usability testing based on surface EMG images and convolutional neural network classification. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *221*, 106870. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106870

19. Gibson, I., Gao, Z., & Campbell, I. (2004). A comparative study of Virtual Prototyping and Physical Prototyping. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, *6*(6), 503. https://doi.org/10.1504/ijmtm.2004.005931

20. HALL, R. R. (2001). Prototyping for usability of New Technology. *International Journal of Human-Computer Studies*, *55*(4), 485–501. https://doi.org/10.1006/ijhc.2001.0478

21. Kechagias, J. (2007). An experimental investigation of the surface roughness of parts produced by Lom Process. *Rapid Prototyping Journal*, *13*(1), 17–22. https://doi.org/10.1108/13552540710719172

22. Liu, W., Zeng, Y., Maletz, M., & Brisson, D. (2009). Product Lifecycle Management: A survey. *Volume 2: 29th Computers and Information in Engineering Conference, Parts A and B*. https://doi.org/10.1115/detc2009-86983

23. Łukaszewicz, K., & Niechoćko, N. (2019). Dynamic simulation of a virtual prototype of a one-track vehicle in motion on uneven ground conditions. *MATEC Web of Conferences*, *254*, 02015. https://doi.org/10.1051/matecconf/201925402015

24. Maropoulos, P. G., & Ceglarek, D. (2010). Design verification and validation in product lifecycle. *CIRP Annals*, *59*(2), 740–759. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.05.005

25. Nada, Osama Ali ElSayed, & Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2022). Digital Twin: Methodologies for modeling the Work Environment during the Design and Development

processes. *International Design Journal, 12*(5). Article 22. 225-242. DOI: 10.21608/IDJ.2022.260602.

26. Nada, Osama Ali ElSayed, & Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2023). Designing an adjustable electricity extension plug board to enhance the concept of Usability. *Journal of Heritage and Design, 3*(14). Article 1. 1-23. DOI: 10.21608/JSOS.2022.131531.1195.
27. Nambisan, S. (2002). Designing virtual customer environments for new product development: Toward a theory. *The Academy of Management Review, 27*(3), 392. https://doi.org/10.2307/4134386
28. Pilipović, A., Raos, P., & Šercer, M. (2007). Experimental analysis of properties of materials for Rapid Prototyping. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *40*(1–2), 105–115. https://doi.org/10.1007/s00170-007-1310-7
29. Russo, M., Ceccarelli, M., Corves, B., Hüsing, M., Lorenz, M., Cafolla, D., & Carbone, G. (2017). Design and test of a Gripper prototype for horticulture products. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *44*, 266–275. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.09.005
30. Sudarsan, R., Fenves, S. J., Sriram, R. D., & Wang, F. (2005). A product information modeling framework for Product Lifecycle Management. *Computer-Aided Design*, *37*(13), 1399–1411. https://doi.org/10.1016/j.cad.2005.02.010
31. Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M., & Kiritsis, D. (2010). Product Lifecycle Management – from its history to its new role. *International Journal of Product Lifecycle Management*, *4*(4), 360–389. https://doi.org/10.1504/ijplm.2010.036489
32. Tiainen, T., Ellman, A., & Kaapu, T. (2014). Virtual prototypes reveal more development ideas: Comparison between customers' evaluation of virtual and physical prototypes. *Virtual and Physical Prototyping*, *9*(3), 169–180. https://doi.org/10.1080/17452759.2014.934573
33. Toche, B., Huet, G., McSorley, G., & Fortin, C. (2010). A Product Lifecycle Management Framework to support the exchange of prototyping and testing information. *Volume 3: 30th Computers and Information in Engineering Conference, Parts A and B*. https://doi.org/10.1115/detc2010-29005
34. Wensveen, S., & Matthews, B. (2014). Prototypes and prototyping in Design Research. *The Routledge Companion to Design Research*, 262–276. https://doi.org/10.4324/9781315758466-25
35. Wiesner, S., Freitag, M., Westphal, I., & Thoben, K.-D. (2015). Interactions between service and Product Lifecycle Management. *Procedia CIRP*, *30*, 36–41. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.018