

الإستعمالية: تحسين واجهة المستخدم/خبرة المستخدم فى التصميم من خلال تحديات ابتكارات المواد Usability: Improving UI/UX in Design by challenges of Materials Innovations

محمود أحمد جودة الجزار

أستاذ مساعد بقسم التصميم الصناعى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها، mahmoud.algazar@fapa.bu.edu.eg

مينا إسحق توفيلس داود

مدرس بقسم التصميم الصناعى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط، minaeshaq@du.edu.eg

كلمات دالة Keywords:

التصميم التفاعلى
Interaction Design
الإرجونوميكس التفاعلى
Interactive Ergonomics
واجهة المستخدم
User Interface
خبرة المستخدم
User eXperience
الإستعمالية
Usability
علم المواد
Materials Science

ملخص البحث Abstract:

عندما يستخدم البشر المنتجات التفاعلية فإن أول ما يتفاعلون معه هو واجهة المستخدم، ودائماً ما يتم تصميم واجهة المستخدم/خبرة المستخدم UI/UX مع مراعاة الإستجابات المعرفية والأنماط السلوكية لدى المستخدمين؛ لكن تظل الأبحاث المتعلقة بتطور واجهة المستخدم UI وخبرة المستخدم UX لها الكثير من القيود المتعلقة بتنوع المواد المستخدمة، وكذلك تكنولوجيا الإنتاج الخاصة بها، وفى هذا البحث، يتم مناقشة فعالية لتصميم المنتجات الصناعية وواجهات تفاعل المستخدمين، وتطورها من الأشكال التقليدية وإجراء العديد من التحسينات عليها حتى وصولها إلى الشكل الديناميكي الجذاب، والذي نجده على شاشة الهواتف الذكية، ومن ثم بلوغها مرحلة النظم الذكية القادرة على تحليل البيانات عن طريق التفاعلات المعرفية، وأيضاً دراسة العلاقة الطردية بين تطور تكنولوجيا إنتاج المواد التي تُستخدم فى عمليات تصنيع المنتجات الذكية والتفاعلية وتحسين خبرات المستخدم، والتي لها بالغ الأثر فى تعزيز إستعمالية تلك المنتجات بشكل كبير، نظراً لأن تنوع المواد وتطورها يوفر للمصمم بدائل عديدة يمكنه الإختيار فيما بينها لتنفيذ أجزاء المنتج المختلفة، وعلى هذا الأساس يكون تواجد المواد وتنوعها هو المحدد الأول لتنفيذ ابتكارات المصمم، وتواجدها داخل منتج محدد كواقع حقيقى وملمس، ولا يزال هناك العديد من المنتجات والأنظمة المستقبلية التي لن تظهر إلا بظهور مواد أخرى متقدمة؛ فعملية البحث عن مواد جديدة وتحسينها هو مسعى علمى وهندسى مشترك.

Paper received 10th September 2022, Accepted 15th November 2022, Published 1st of January 2023

استخدامها بصفة فردية، أى بمزيج مواد أخرى للحصول على الخصائص المطلوبة (Moulson & Herbert, 2008)، وكذلك إمتيازية الأداء؛ فيتم مراعاة الخصائص الفيزيائية مثل القوة والصلابة ومقاومة التآكل والإستقرار الحرارى عند إختيار مزيجاً من المواد لتصميم منتج معين (Smith, 2002)، لتوفير حلول عالية التكامل فيما بينها للمكونات من جميع الأحجام والأشكال والمواصفات.

وعند تطور المواد عبر الزمن يتم تطور المنتجات معها أيضاً بشكل متزامن (Goodno et al., 2021)، وترتقى عملية تصميم المنتج بإنتقالها من تصميم الأدوات والمعدات فيما مضى، وتنتقل إلى تصميم الماكينات والأجهزة المساعدة فى عمليات الإنتاج (Andreoni & Yip, 2020)، وكذلك الإنتقال من القوة العضلية للإنسان إلى القوة الميكانيكية التي توفرها الآلة (Mittemeijer, 2021)، ومن بعد إختراع الكهرباء ووجود المصانع العملاقة تصدرت الأجهزة المنزلية المشهد الصناعى لمساعدة المستخدم فى نواحي الحياة الخاصة، مثل الغسالة والثلاجة وغيرها...، ومن بعد ابتكار البوليمرات Polymers بفترة قصيرة تنتقل عملية تصميم المنتج إلى مستوى جديد أطلق عليه المستوى التفاعلى للمنتجات (Ingold, 2012)، ومعها ظهور واجهة المستخدم UI بتعريفات جديدة ذات شكل متمع وجذاب، حيث يتم التحكم فى المنتجات والأنظمة بسهولة عن طريق شاشات بها العديد من الخيارات (Wang, 2001)، ومنها تحسين خبرة المستخدم داخل تجارب التفاعل المباشر مع عناصر بيئة العمل

المقدمة Introduction

المادة هى المُكون الرئيسى لكل المنتجات/الأنظمة الصناعية، سواء كانت منتجات/أنظمة تقليدية أو حتى التفاعلية منها والمستقبلية أيضاً (Czichos et al., 2007)، ولا يقتصر دور المادة على تشكيل جزء محدد من المنتج، ولكنها تشمل تمثيل جميع الأجزاء الفيزيائية سواء كانت متعلقة بالشكل الخارجى أو الأجزاء الداخلية، وحتى البرمجيات التي داخل المنتجات التفاعلية والأنظمة الروبوتية تكون مُخرنة داخل مكونات تسمى مكونات إلكترونية مصنوعة أيضاً من مواد (H. & Ashby, 2019)، ويكون لكل مادة خصائصها الخاصة بها التي تميزها عن غيرها، ويمكن للمصمم المفاضلة فيما بينهم على أساس فاعلية أى منهما فى أجزاء المنتج المرغوب (Afsar et al., 1986)، ويتم تطوير علوم وهندسة المواد الجديدة بإستمرار لتلبية إحتياجات ومتطلبات تصميم المنتجات والأنظمة.

من خلال الفهم الكامل للمواد المتاحة (Graedel et al., 2015)، هناك العديد من العوامل التي يجب على المصممين أخذها فى الإعتبار عند إختيار المواد، بما فى ذلك الخصائص المطلوبة للمنتج من خلال المواد المتاحة (Callister & Rethwisch, 2021)، حينها تكون إختيارات المصممين مستنيرة قدر الإمكان عند التفكير فى الشكل العام للمنتج وكذلك خصائص الأجزاء الداخلية، لتلبية رغبات وتطلعات المستخدمين فى المنتج المستهدف، بشكل عام، يبحث المصممون دائماً على عن تلك المواد التي تعطى أفضلية عند

المواد فيما بعد عبر الثورات الصناعية الأربعة، وابتكار مواد جديدة منتجة معملياً تستخدم لإجراء تحسينات فعالة على واجهة المستخدم/خبرة المستخدم UI/UX، وإكساب المنتجات التفاعلية مقياس جمالي جديد من خلال مستجدات المواد المتاحة، مما يدعم دعم قرارات المصمم في التوصل إلى مواد مبتكرة تلائم أجزاء المنتج المراد تصميمه، وتقديم حلول ومعالجات وظيفية لواجهات تفاعل المستخدم، وأيضاً تحقيق عنصر إستدامة المنتجات بوجه عام.

منهج البحث Methodology:

إعتمد البحث على المنهج الإستقرائي لدراسة المشكلة، وتحقيق فرض البحث، وبيان أهميته.

1. أثر المواد المتاحة على تصميم وتصنيع الأدوات والمعدات قديماً:

منذ القدم، كانت المواد المتوفرة هي المحرك الأول للإبداعات البشرية، ومن خلالها قام الإنسان بابتكار العديد من الأدوات والمعدات المختلفة لتذليل العديد من العقبات، وتحسين نوعية الحياة بشكل عام، وبالرغم من أن استخدام المواد هو مجرد جانب واحد من جوانب الحضارة والتكنولوجيا البشرية، إلا أن المادة جانب يحدد نواح كثيرة مثل حدود المبتكرات والتوجهات المستقبلية لكل الإختراعات البشرية (Grassby, 2005)؛ فهمها كانت فكرة الإنسان عن أي ابتكار جديد مكتملة نظرياً، إلا أن توافر المواد هو المحدد الأول في تحويل الخيال الابتكاري داخل عقل المصمم إلى واقع حقيقي وملمس، ولبين أهمية المواد كونها تقنية عملية (Solé et al., 2013)، نجد أن تمت تسمية العصور المختلفة من تاريخ البشرية وما ندعى أنه قبل التاريخ أيضاً في الأصل على إسم المادة الأولية المكتشفة والمستخدم في ذلك الوقت.

وبالرغم من التخلي عن إصطلاح التسمية الذي قدمه كريستيان يورجينسن تومسن Christian Jürgensen Thomsen عالم الآثار الدنماركي في القرن التاسع عشر، والذي إشتهر بتطوير التقنيات والأساليب الأثرية، وقدم أيضاً نظام الثلاث عصور Three-age system، أي تقسيم عصور ما قبل التاريخ البشري إلى ثلاث فترات زمنية متتالية، ونُسبت التسمية فيها إلى تقنيات صنع الأدوات الخاصة بها، وهم: العصور الحجرية Stone Ages، والعصور الحديدية Iron Ages، والعصور البرونزية Bronze Ages؛ لكن هنا نستعين بتلك المسميات لبيان أهمية التطور التاريخي لعلم وهندسة المواد (Ortner et al., 2014)، وتوسيع المفهوم العام ليشمل فترات التطور التاريخي لإكتشاف المواد، ومن بعدها عصور الثورات الصناعية الأولى والثانية، والتي فيها تم إنتاجية المواد وتخليط المعادن لعمل السبائك، ويليها فترات التقدم العلمي والتكنولوجي والتي فيها يتم تحضير المواد معملياً بشكل دقيق، وإكسابها خصائص محددة لأغراض مرجوة من عملية التصميم (Beretta et al., 2019)، ولرصد تلك الفترات التاريخية الهامة في تاريخ علوم وهندسة المواد، وهي كالتالي:

أ. العصر الحجري The Stone Age:

خلال ما يعرف بفترة ما قبل التاريخ، إعتمدت التقنيات البشرية على المواد الموجودة، والتي تم الحصول عليها من الأشياء أو

التفاعلية.

مشكلة البحث Statement of the problem:

يعمل المصمم دائماً على تسهيل إجراءات التفاعل بين المستخدم والمنتج، وذلك من خلال ابتكار سيناريو معرفي يعمل كمعجم خاص بالإتصال بين المستخدم والمنتج، ويسمى في هذه الحالة واجهة المستخدم UI، والمنتجات التفاعلية ومن قبلها التقليدية كانت فيها واجهة المستخدم مرتبطة بعلاقة طردية بين تطور المواد وظهور مواد أخرى جديدة، ومنها إجراء تحسينات على واجهات المستخدم القائمة على تطور المواد ومدى توافرها داخل المنتجات؛ فمن خلال ذلك تكون إشكالية البحث تنحصر في القصور الحادث في مواكبة المصممين لتكنولوجيا إنتاج المواد، ومدى إلمام المصمم بخصائص المواد التي يحتاجها داخل عملية تصميم وتطوير المنتجات، وذلك بسبب ندرة البحوث الإستكشافية التي تقوم بتعريف المصمم بما هو جديد في هندسة المواد المستحدثة في مجال التصميم، والإفتقار إلى ابتكار مواد مستحدثة لتدخل إضافات إبداعية جديدة داخل المنتجات التفاعلية وجعلها أكثر متعة وجاذبية.

فرض البحث Hypothesis:

من خلال الدور الهام للمواد داخل مراحل عملية التصميم، والقيود الموجودة داخل عملية إختيار المواد المناسبة لأجزاء المنتج طبقاً لما هو متاح وله خصائص محددة، والتطور الثوري والسريع لعلوم وهندسة المواد، يمكن للمصمم تعظيم أوجة الإستفادة من الإضافات الإبداعية لمواد مستحدثة داخل عمليات التصميم والتطوير للمنتجات التفاعلية، وأيضاً جعل المصمم قادراً على تحدى المفاهيم الجامدة القديمة في تصميم وتطوير المنتجات الهندسية والتفاعلية، وتعزيز إستعمالية المنتجات من خلال توافر مفاهيم جديدة للمواد المستخدمة في التصميم، وتسهيل عمليات التفاعل من خلال التكنولوجيا المستحدثة في علوم وهندسة المواد.

هدف البحث Objective:

في ظل التطور الهائل لعملية تصميم المنتجات والتحول نحو التفاعلية، يهدف البحث إلى زيادة وعي المصمم الصناعي والتفاعلي الخاص بالتطور الثوري في علوم وهندسة المواد، ومدى تأثير ابتكارات المواد الجديدة على مرونة تصميم منتجات تفاعلية أكثر كفاءة، من خلال إجراء التحسينات على واجهة المستخدم/خبرة المستخدم UI/UX، وتزويد المستخدم بتجربة تفاعل ممتعة وأكثر فاعلية، وهو ما يمثل تحدياً كبيراً أمام المصمم الصناعي والتفاعلي اللذين يتطلعون بدورهم إلى تقديم تحسينات متقدمة في واجهات المستخدم أثناء عملية التفاعل المباشر مع المنتجات/الأنظمة، ولتحقيق أقصى كفاءة استخدام للمنتج وتعزيز عامل الإستعمالية.

أهمية البحث Significance:

بيان أهمية المواد الموجودة في الطبيعة بصفتها المحرك الأول للإبداع الإنساني، وذلك بتقديم الحلول المبتكرة غير الإعتيادية لتطور الأدوات والمعدات والنظم بالتوازي مع إكتشاف مواد جديدة عبر التاريخ الإنساني، وكذلك تطور علوم وهندسة

المعدن أقوى من البرونز، لذلك كانت الأدوات والأسلحة المصنوعة منه أكثر متانة وأكثر إستعمالية في ذلك الوقت، وفي البداية جاء إكتشاف وإستخراج الحديد الذى يمكن الحصول عليه من النيازك، لكن التحسينات التى تتم فى عمليات الصهر جعلت إستغلال مصادر معدن الحديد الموجود فى الأرض فى معظم الأماكن الممكنة، أدى التوافر فى الأدوات الحديدية إلى تحسينات فى الإنتاج ومستوى المعيشة بوجه عام (Foxhall, 1995)، كما أنه وفر أيضاً الوسائل الجيدة لنشر الجيوش المسلحة والمجهزة جيداً، وستكون الأسلحة والدروع المصنوعة فى هذا العصر خلال هذه الفترة القياسية، مستمرة لآلاف من السنوات القادمة.

ويمكن تعريف العصر الحديدي بأنه وقت رئيسى فى فترة ما قبل التاريخ، والتى جاءت لتحل محل العصر البرونزى فى جميع أنحاء العالم؛ فبدأ العصر الحديدي حوالى 1200 قبل الميلاد، فى الشرق الأوسط وجنوب شرق أوروبا، ويمكن أن تتميز بصنع/صهر الأدوات الحديدية، وعُرف عن بعض المناطق أنها استخدمت الحديد خلال نهايات العصر البرونزى قبل 1200 قبل الميلاد خاصة فى منطقة الشرق الأوسط (Soper, 1971)، لكنه لم يكن منتشرًا، ولا يزال يعتبر أدنى من أنواع المعادن الأخرى، ويُعتقد أن الحثيين فى المنطقة التى تُعرف اليوم بتركيا هم أول من صنعوا الحديد؛ فالعصر الحديدي مهم لتاريخ البشرية، لأنه ساعد فى قيادة الحضارات إلى المزيد من المستوطنات الدائمة، وأحدث ثورة فى الأدوات البشرية والأسلحة والابتكار.

إستمر العصر الحديدي من حوالى 1200 إلى 500 قبل الميلاد، وتميز العصر الحديدي بإنتشار استخدام الحديد، لكن التواريخ الدقيقة للعصر إختلفت فى جميع أنحاء العالم إعتقاداً على العوامل المحلية والتجارة عبر مسافات طويلة (Trinder et al., 2000)؛ فربما بدأ العصر الحديدي فى وقت أقرب بكثير فى مناطق معينة مقابل مناطق أخرى، وربما إنتهى فى وقت لاحق فى مناطق معينة، وكان قدوم صناعة الحديد مهماً وثنوياً للبشر، لأنه يُصنع به أدوات أفضل وأكثر متانة، كما ساعدت أدوات الحديد بشكل خاص فى التنمية الزراعية، وحدثت وقتها تغييرات رئيسية أخرى فى العالم خلال العصر الحديدي أيضاً، مثل الممارسات الفنية والزراعية الأكثر تقدماً، وتغيير بعض من المعتقدات الدينية، وتقديم أنظمة الكتابة الأكثر تقدماً باستخدام الأحرف الأبجدية البارزة، والتى من نتائجها إزدهار النصوص السنسكريتية Sanskrit والصينية Chinese والهندية Indian والعبرية Hebrew خلال هذا الوقت (Casu & Rivella, 2014).

د. عصر البورسلين The Porcelain Age:

ما تم تسميته بالعصور الوسطى فى أوروبا، كان وقت إدخال القليل من المواد الجديدة فى الغرب، ومع ذلك، فى أماكن أخرى تم تطوير مواد جديدة، كما فى الشرق الأقصى، أصبح هناك نوع من السيراميك الزجاجى شائعاً يسمى الخزف، نظراً لأن التقنيات المطلوبة لصنع الخزف كانت الأكثر ملاءمة، وأكبر الأمثلة تقدماً فى تكنولوجيا المواد أثناء هذا الإطار الزمنى، ويمكن أن نطلق عليه عصر البورسلين، وفيه تم استخدام الأفران لمعالجة الخزف والمنتجات المصنعة، وتم

الحيوانات، مثل الأخشاب والحجارة وعظام الحيوانات الكبيرة حجماً... وما شابه ذلك، وتطلب حينها استخدام قطع صخرية – نظراً لصلابة بعض أنواع الصخور العالية – للتعديل أو تشكيل هذه المواد للحصول على أدوات مفيدة، وبعد ذلك يمكن استخدامها لتعديل وتشكيل مواد أخرى أكثر نعومة، مثل العصى والعظام والجلود (O'Connor, 2007)، والأهم من ذلك، هو استخدام بعض أنواع الصخور الصلبة لتهديب وتشكيل الحجارة الهشة، من خلال قوة الطرق لإنتاج لها حواف حادة، قد تكون مفيدة فى الصيد وحصاد الثمار وتقطيع جذوع النباتات وإعداد الطعام .

ب. العصر البرونزى The Bronze Age:

قدمت البشرية فى هذا العصر إضافة هامة إلى إكتشاف المواد التى استخدمها الإنسان، وجاء العصر البرونزى بعد العصر الحجرى مباشرة، وتراوح ما بين حوالى 3300 إلى 1200 قبل الميلاد، وخلال هذه الفترة الزمنية تم إنشاء الكتابة/الرموز الأولى على شكل صور رمزية، وكان هذا العصر هو البداية الحقيقية للمعادن وإدخال المواد المعدنية ضمن سبيكة مصنوعة، وكذلك مواد أخرى بدائية كالسيراميك الطينى، لكن كان لإدخال المعادن أثر بالغ فى إحداث تغييرات كبيرة فى نمط الحياة البشرية (Chapman, 2017)، وعلى تصنيع الأدوات والمعدات؛ فالمعادن ليست صلبة كالحجارة أو الصخور عامة، علاوة على ذلك، تكون أقل هشاشة ويتم تشكيلها بسهولة أكبر، بطرق متنوعة كالصب والطرق، وأحدث حينها إكتشاف المعادن علامة فارقة فى حياة البشر، وذلك بعد أن تم إستخراج المعادن بعدة طرق مختلفة، وأثناء البحث داخل التضاريس الطبيعية عن صخور مفيدة، وجد البشر بعد المعادن كالذهب فى حالتها غير المتفاعلة بالقرب من سطح الأرض (Ginn, 2016)، ومن المحتمل أن يكون البشر قد وجدوا تراكمت شذرات معدنية مختلطة بالأحجار عند إجراء عمليات التشكيل.

وكانت عملية تشكيل الأحجار التى تم تطويرها فى العصر السابق، هى من دفعت عملية إستخراج المعادن من باطن الأرض، بالإضافة إلى أن عملية حرق المنتجات الفخارية، أدت إلى إستخلاص كميات صغيرة من المعادن الموجودة كأكاسيد داخل عملية خلط الطين إلى أصلها النقى، مما أدى ذلك إلى إدخال الطرق القائمة على الحرارة لإتمام عملية إستخراج المعادن؛ فكان البرونز فى الهيئة الأساسية له خليط من معدنين هما النحاس والقصدير (HAMILAKIS, 1996)، ويمتاز القصدير بدرجة حرارة إنصهار منخفضة وذات ملمس ناعم جداً، والنحاس ذات ملمس ناعم أيضاً لكنه يتمتع بدرجة إنصهار عالية، ومع ذلك فإن الخليط بينهم – السبيكة – من تلك المعادن المختلفة له خاصيتان مفيدتان لهذا العصر تحديداً، أنه خليط صلب لكنه يحتفظ بدرجة حرارة منخفضة، مما يجعل عملية صب سبيكة البرونز المنصهرة بسيطة لعمل الأسلحة والرؤوس الرمحية المدببة (Szmuk et al., 2007)، وكذلك توفير بعض الأدوات التى يحتاجها البشر حتى إن كانت تحتوى على أشكال معقدة.

ج. العصر الحديدي The Iron Age:

خلال هذا العصر تحديداً، حققت الأفران المطورة لإستخراج المعادن ومعالجتها القدرات اللازمة لإنتاج الحديد، وكون هذا

يتم الإشارة إلى العصر الذي نعيش فيه على أنه عصر المعلومات والذكاء الإصطناعي، ويتم تحديد ذلك من خلال مدى شيوع أجهزة الكمبيوتر، وذلك نظراً لأن المادة المستحدثة التي تُمكن الحوسبة هي أشباه الموصلات، وتعتمد بشكل أساسي على السيليكون، وتم استخدام السيليكون في إختراع أشباه الموصلات مثل الترانزستور Transistor، والذي كان بمثابة النواة الأولى لإختراع معالجات الحاسبات الآلية الصغيرة (Saini et al., 2021)، ومنها تصغير جميع الأجهزة الذكية وصولاً للهاتف الذكي، لذلك أُطلق على تلك الحقبة الزمنية عصر السيليكون (Singh et al., 2022).

هناك أيضاً العديد من المواد المهمة الأخرى في هذا العصر، والتي تزيد من جودة الحياة البشرية بوجه عام، مثل المواد المركبة المتقدمة لتطبيقات الفضاء والبوليمرات والمواد الذكية (Strafford et al., 1996)، والتي ساهمت بشكل مباشر في عملية تصميم منتجاتنا التي نستخدمها اليوم، وزيادة عامل الإستدامة وإستعمالية المنتجات بشكل ملحوظ (McCabe et al., 2011)، وبلوغ المنتجات المستويات التفاعلية التي نراها اليوم، وكذلك مراحل متقدمة من الأتمتة التي تساعد المستخدم على إنجاز الكثير من المهام، ليس فقط الاستخدام بل وإجراء فحوصات الصيانة، ومعرفة الكثير عن الأعطال الموجودة داخل المنتج، وتستمر التحسينات التي تدفع تصميم المنتجات الذكية والتفاعلية نحو المستقبل (Kelly & Benetti, 2011)، ويتم تطوير واجهة المستخدم/خبرة المستخدم بالتوازي مع تلك التقنيات، ويوضح شكل (1) مخطط للفترات الزمنية المختلفة التي توضح تطورات المواد في العصور المختلفة.

يعتبر العصر الحجري والعصر البرونزي والعصر الحديدي هم حقبة عصور ما قبل التاريخ الثلاثة، مما يعني أنها فترات التطور البشرى التي حدثت قبل التاريخ المسجل والموثق، وبعد العصر الحجري هو أول فترة زمنية حاسمة للتطور البشرى، والذي إستمر حتى حوالي 2500 قبل الميلاد، منذ أن استخدم الإنسان أدوات من العظام والحجارة والأخشاب خلال تلك الفترة (Tew & Hurstfield, 1953)، وكان التطور يستمر دائماً بتطور المجتمعات البشرية، وكانت الأدوات والمعدات لها قيوداً في استخدامها تبعاً لنوعية المواد المستخدمة (Prasher, 2006)، ومنها لم يدم طويلاً ليستمر للعصور التالية كونها ضعيفة نسبياً، وكانت هناك حاجة ملحة لإنشاء أدوات أقوى وأطول أمداً، وانتقلت الأدوات والمعدات عبر التطورات المرتبطة بحداثة المواد المتاحة، وقدرة البشر على تشكيلها والعمل على إختراع أدوات جديدة، مروراً بعصور تالية لها إزدهرت فيها الصناعات بمختلف أشكالها، وتطور المواد بمثابة العامل الأول لتغيرات العصر في أي حقبة زمنية تالية (Jeevanandam et al., 2022)؛ فتشير التطورات الحديثة في علوم وهندسة المواد إلى أن أي تقنيات حديثة ناشئة أو مُكتشفة حديثاً، هي من شأنها تحديد سمات وخصائص الحقبة التالية من التاريخ البشرى.

إنتاج العديد من المنتجات التي يحتاجها الإنسان في الحياة اليومية العادية (Sanford, 1944)، مثل الأطباق والأواني الخزفية وإناء كبير لحمل المياه داخله... وغيرها من الأدوات والمنتجات.

وتم صنع الخزف لأول مرة في الصين – بشكل بدائي – خلال عهد أسرة تانغ Tang dynasty، وبشكل أكثر إحترافية خلال عهد أسرة يوان Yuan dynasty؛ فتم صنع هذا الخزف الصلب من مسحوق ناتج عن طحن حجر أبيض (Walsh, 1940)، وفيما يُعرف بالطين الصيني الأبيض، وعند درجة حرارة تبلغ 1450 درجة مئوية، يتم تصليب الطين إلى خزف محتفظاً بشكله، كما أدت محاولات الخزافين الأوروبيين الأولى في العصور الوسطى إلى تقليد هذا الخزف الصيني إلى إكتشاف الخزف الصناعي، أو فيما يعرف الخزف العجيني الطيني الطرى، وهو مزيج من الطين والزجاج المطحون، ويتطلب درجة حرارة 1200 درجة مئوية (Amar, 2002)، وعلى الرغم من تشابه النوعين في الملمس السطحي، إلا أنه يمكن التمييز بين الخزف الصناعي واليورسلين الحقيقي والأكثر نعومة، وتم صنع أول خزف أوروبي ذات ملمس ناعم في فلورنسا Florence حوالي عام 1575، في ورش عمل تحت رعاية فرانثيسكو الأول دي ميثشي 'Francesco I de Medici'، ولكن لم يتم إنتاجه بكميات كبيرة حتى أواخر القرنين السابع عشر والثامن عشر (Unger, 2008)، ومن بعدها تم إنتاج العديد من أنواع الخزف الأكثر إحترافاً وذات خصائص أخرى متميزة في عدة بلاد أوروبية.

هـ. عصر الصلب The Steel Age:

هذه الحقبة الزمنية، يتم تجميع الفترات التي تشمل عادة عصر النهضة والثورة الصناعية معاً، ووضعها على جدول زمني واحد مشترك، كما أدت التطورات التكنولوجية الناشئة حينها إلى الإنتاج الضخم للصلب، والمواد الحديثة مثل الصلب والتي نسميه الفولاذ والعديد من المعادن الأخرى، تشبه الحديد المُعالج الموجود في العصور السابقة، ولكن كونه أكثر صلابة وتميزاً، أدى ذلك لظهور جيل جديد من المنتجات، بالإضافة إلى تطوير العديد من المجالات العلمية الحديثة ذات الصلة الوثيقة بالكيمياء والمعادن خلال عصر النهضة (White, 1940)، دعمت صناعة الصلب من خلال تحديات قدرات تصنيع الأدوات والمعدات، وتعزيز المواد المنتجة كسبائك معدنية لها خصائص مرجوة.

وقد أدت التطورات المعدنية الإضافية، إلى ترسيخ الصلب – الحديد المعزز بالكربون – بإعتباره المادة التي حدد استخدامها العصر الحالي، لأن الفولاذ – الحديد والكربون – أقوى من سبيكة البرونز ويدوم طويلاً، وكان الفولاذ عالي الجودة بعد ذلك رخيصاً، ويمكن تصنيعه بكميات بأى شكل تقريباً مثل الألواح والقضبان للاستخدامات المتعددة (Wrigley, 1962)، كما أدى تطبيق الفولاذ المنتج في الآلات إلى التصنيع السريع والتطورات المرتبطة به في وسائل ومعدات النقل والهندسة المدنية والمعمارية... والعديد من التطورات اللاحقة في جميع المجالات الصناعية (Deliyannis et al., 2019).

و. عصر السيليكون The Silicon Age:



شكل (1) المحطات الرئيسية للعصور المختلفة التي توضح تطور المواد والمنتجات عبر التاريخ البشري

2. قيود وحدود المواد المستخدمة في تصميم وإنتاج المنتجات/الأنظمة:

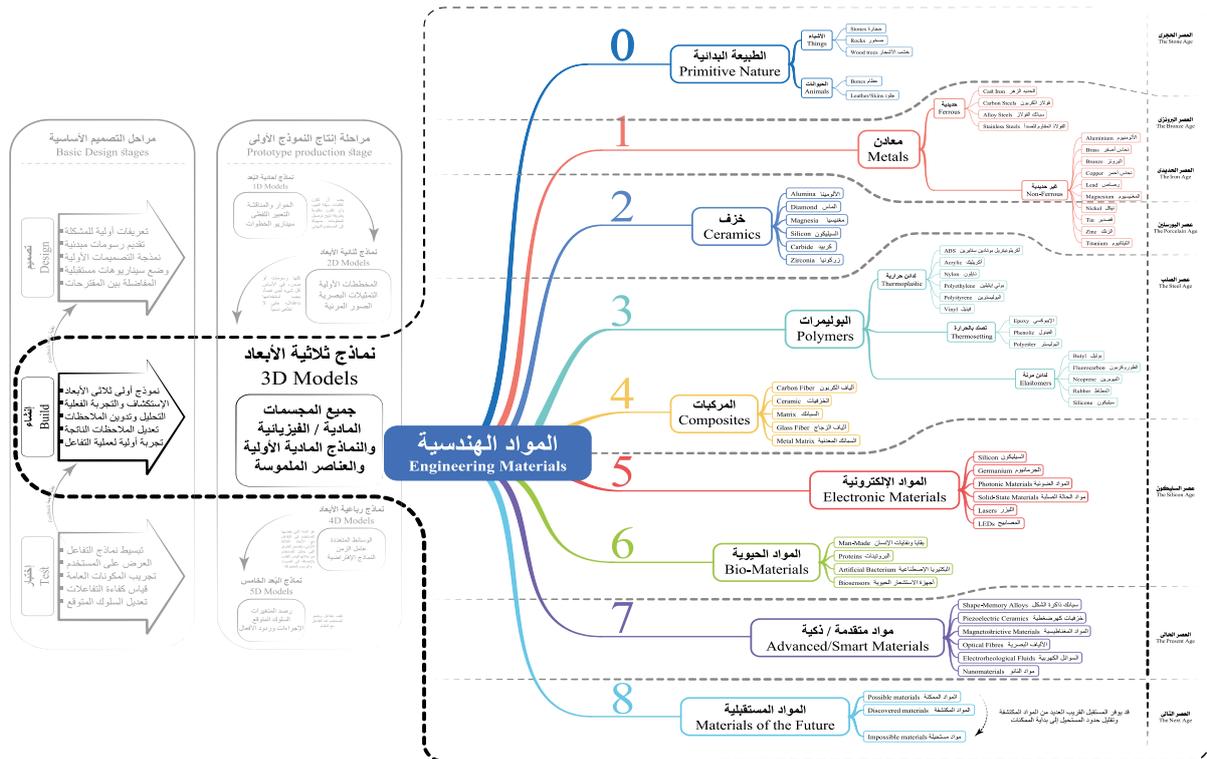
دائماً ما يوجد الكثير من الآمال الحاملة بين ممارسي ومتخصصي تصميم المنتجات الصناعية والتفاعلية (Jeevanandam et al., 2022)، ودائماً ما تولد العديد من تلك الأفكار داخل عقول المصممين، وهم يفكرون في تحقيقها وأن تصبح منتجات واقعية، ومن خلال تلك الأفكار يعملون على تبسيط عملية التفاعل المباشر بين المستخدم والمنتج، ويسعى كل منهم إلى إيجاد حلول واعدة لتنفيذ المنتج الذي يحقق طموحات المستخدمين، وذلك في نطاق المميزات الموجودة حالياً من المواد المتاحة، واستخدامها في تصميم وتصنيع أجزاء وهياكل المنتجات (Alexandru et al., 2020)؛ فبداية من العصر الحجري – تحديداً تبعاً لإمكانيات كل عصر من حيث المواد المتاحة به – ووصولاً إلى العصر الحالي، ومع التطورات المتلاحقة في علوم وهندسة المواد، تزداد تطلعات ورغبات المستخدمين في تصميم المزيد من المنتجات التي تعمل على تسهيل إجراءات التفاعل وتزيد من ملائمة التفاعلات للبشر (Shahbazi, 2020)، ولكن تعقيدات تطورات المواد المتاحة يصعب تحقيق كل إحتياجات المستخدم، وتطوير واجهات التفاعل بشكل متلاحق.

وتنقسم المواد إلى أنواع كثيرة وتصنيفات متعددة، لكن عند إختيار المصمم مادة معينة لإنشاء نموذج فيزيائي ثلاثي الأبعاد ضمن مراحل عملية التصميم أو في مرحلة التصنيع، تكون تبعاً لطبيعتها الهندسية التي تلائم الغرض المرجو منها (Newnham, 2004)، ويوضح شكل (2) التصنيفات العامة للمواد الهندسية التي يستخدمها المصمم في عملية إنشاء نماذج العينة الأولى لأجزاء وهياكل لمنتجات صناعية، وتعزيز من خلال ذلك إستعمالية المنتج.

تكون دائماً النتيجة المرجوة من عملية إختيار المواد، هي

تحديد مادة أو أكثر بخصائص تلبي المتطلبات الوظيفية لأجزاء المنتج، وتعمل طبيعة المادة المختارة على تحسين أهداف الأداء العام للمنتجات من خلال تعزيز الإستعمالية، مثل التأثير البيئي وعامل الإستدامة... وغيرهم؛ فإختيار المواد عبارة عن مهمة متعددة التخصصات، وتتطلب تفاعل مصممي المنتجات وعلماء ومبتكرى المواد ومهندسي الإختيارات والمستخدم النهائي (White, 2016)، وذلك لإختيار الأنسب والأصلح من المواد التي قد تفي بالغرض المطلوب، وعادة ما تكون مشاكل إختيار المواد كثيرة وكذلك المفاضلة فيما بينها، مع خضوع الحلول المُختارة قيد الدراسة والفحص والتجريب بين العديد من القيود والأهداف.

قد يخضع العديد من إختيارات المواد لقصور في يقين المصمم لمدى الملاءمة، بما في ذلك تلك الإختيارات المرتبطة بمواصفات محددة لا يمكن الحيود عنها، ولا بد من أن تشمل خصائص المواد مواصفات تصميمية تتحدد بالمتطلبات والأهداف الوظيفية للمنتج، لأن المواد ليست متشابهة في المواصفات أو حتى متقاربة في خواصها العامة، كل منها يحمل طابع مختلف ومواصفات مختلفة يتميز بها عن غيره (White, 2019)، ومع ذلك، وبالرغم من تطور المواد في عصر المعلومات، إلا أن يوجد العديد من الصعوبات التي قد تصل إلى مستوى المستحيلات، ولا يمكن تحقيقها تبعاً لتوافر المواد المطلوبة من عدمها، وتكون بعض التصميمات المقترحة لا تصلح لها أي من المواد المتاحة في عصرنا الحالي، ويجب على المصمم تلافى مثل تلك المشكلات، وأثناء ذلك يقوم بتقديم مقترحات بديلة للمواد التي قد تُستخدم في منتج محدد، ويكون الإختيار المناسب يتحدد بالمواصفات والخواص الأولية للمواد (YAMADA & SATO, 1962)، ويوضح شكل (3) الفئات الرئيسية المختلفة للمواد تبعاً لخواصها الميكانيكية والكيميائية والفيزيائية.



شكل (2) تصنيفات المواد الهندسية المستخدمة في عمليات النمذجة الأولية للأجزاء المكونة للمنتج

خواص فيزيائية Physical		خواص كيميائية Chemical		خواص ميكانيكية Mechanical		الفئات Category
Thermal conductivity التوصيل الحراري	Density الكثافة	Oxidation resistance مقاومة الأكسدة	Corrosion resistance المقاومة للتآكل	Toughness الصلابة	Strength القوة	
Electrical conductivity التوصيل الكهربائي	Magnetic properties الخواص المغناطيسية	UV radiation resistance مقاومة الأشعة فوق البنفسجية		Stiffness الصلادة/المتانة		التطبيقات الرئيسية Main applications
Electronics الإلكترونيات	Instrumentation الأجهزة والوسائل	Power plant محطات توليد الطاقة	Chemical plant تجارب كيميائية	Machinery الآليات		
Electrical machinery الآلات الكهربائية	Aerospace, outer space الفضاء الخارجي	Outdoor structures الهياكل الخارجية	Marine structures الهياكل البحرية	Load-bearing structures الهياكل الحاملة		
Power transmission انتقال الطاقة	Reciprocating and rotating machinery الآلات الترددية والدوارة					

شكل (3) فئات المواد مقسمة تبعاً لخواصها الميكانيكية والكيميائية والفيزيائية

بالرغم من ندرة توافر المواد الموجودة في عصر النهضة، تناسباً مع الموجودة اليوم في عصرنا الحالي، كان دافنشي أحد أكثر المخترعين إنتاجاً في التاريخ الموثق (Koestler- Grack, 2005)، ويعمل على إنتاج الابتكارات الإختراعات المستقبلية في العديد من المجالات المختلفة، سواء كانت تصميمات لأسلحة الحروب أو آلات الطيران أو أنظمة رفع المياه أو أدوات العمل بشكل عام، والكثير من تلك المجموعة الواسعة من الأفكار الرائدة تؤثر على عالمنا حتى يومنا الحاضر، ويظل دافنشي شاهداً على براعة وإبداع العقل البشري وتفرد، وكذلك البعد عن كل ما هو تقليدي (Kuligowski, 2012)، يدرس العلوم ويخترع ويبتكر تياراً لا نهاية له من إنتاجية الأفكار المبتكرة والجريئة، ولكن كان يحده دوماً القصور الموجود حينها في توافر المواد والتكنولوجيا الخاصة بها لإنشاء أي من إختراعاته (Bucolo, et al., 2020)، ويوضح شكل (4) الرسومات الأصلية

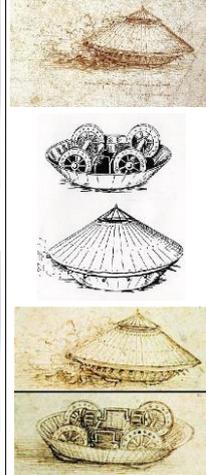
وتُعد مشاكل إختيار مادة دون المستوى الأمثل بمثابة العقبة الكبرى أمام المصمم، لذلك نجد أن ظهور العديد من المنتجات الحالية لم تكن إلا بظهور وابتكار المواد المتاحة، والموجودة بالفعل في تلك الحقبة الزمنية من عصرنا الحالي (Pollock, 2020)، ويرصد التاريخ العديد من المحاولات المستمرة في مجال تصميم المنتجات، وعلى الرغم من أن ليوناردو دافنشي بأعماله كفنّان ورسام، لكنه لُقّب برجل النهضة المخترع قبل عصره، لأنه قضى وقتاً أيضاً في العمل على تصميم بعض المنتجات، وكانت مكتشفاته وفنونه تلك نتيجة شغفه الدائم للمعرفة والبحث العلمي، وكانت تحوى العديد من الرسومات التفصيلية لإختراعاته المختلفة (Scholz, 2008)، وقدمت كرسات الرسم الخاصة به لاحقاً دليلاً على أن دافنشي قد وضع تصورات العديد من الإختراعات الحديثة قبل وقت طويل.

الحالي.

لمقترح دبابة الفنان دافنشي وتفاصيلها الداخلية مفصلة كنموذج ثلاثي الأبعاد، ومقاربتها بالدبابة الحديثة الموجودة في عصرنا



التفاصيل للدبابة الأصلي
بتقنية الرسومات ثلاثية الأبعاد



الرسومات الأصلية

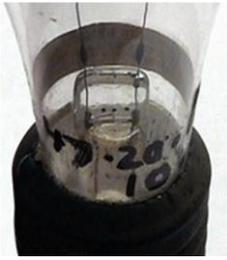


الدبابة بمظهرها الحديث

شكل (4) الرسومات الأصلية لمقترح دبابة الفنان دافنشي ومقاربتها عناصرها مع تفاصيل الدبابات الحديثة

باستخدام الكهرباء لتسخين شريط رقيق من المادة Filament حتى تصبح ساخنة بدرجة كافية لتتوهج (Collins et al., 2002)، ويوضح شكل (5) شكل مصباح إديسون الكهربائي، وأحد أهم إنجازات التاريخ البشري، ويتكون مصباح إديسون من خيوط رفيعة موضوعة في لمبة زجاجية مفرغة، وكان لديه سقيفة نفخ زجاجية خاصة به حيث تم تصنيع المصابيح الهشة بعناية لتجاربه، وكان إديسون يحاول التوصل إلى نظام مقاومة عالية يتطلب طاقة كهربائية أقل بكثير مما كان يستخدم لمصابيح القوس (Tagliaferro, 2003).

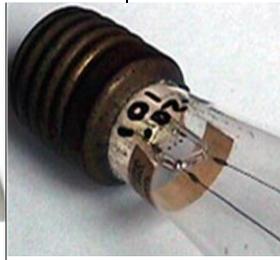
فدائماً ما يكون التاريخ البشري حافلاً بالإختراعات والإنجازات، ونجد كذلك توماس ألفا إديسون Thomas Alva Edison أحد أشهر المخترعين، وأنشأ مختبراً في قبو منزل عائلته وقضى معظم الوقت في التجارب، بعد أن عرفت والدته شغفه بالكيمياء والإلكترونيات، وكرس توماس حياته ليكون مخترعاً متفرغاً بعد عدة وظائف بسيطة في السكك الحديدية وقتها (Dyer & Martin, 2018)، وبعد إنتقاله إلى مدينة نيويورك، وفي الفترة بين 1878 إلى 1880 عمل إديسون ورفاقه على ما لا يقل عن ثلاثة آلاف نظرية مختلفة لتطوير مصباح متوهج فعال، تنتج المصابيح المتوهجة الضوء



تفاصيل داخل المصباح



تصميم القمة المدببة لمصباح إديسون



منظور لمكونات المصباح من الداخل



تفاصيل اسم تصميم المصباح



منظور لتفاصيل أسفل المصباح

شكل (5) تفاصيل تصميم مصباح إديسون الكهربائي

تسبب لي الضوء الكهربائي في أكبر قدر من الدراسة، وتطلب العمل على أكثر التجارب إرهاقاً وتفصيلاً، ويقول أيضاً عن المحاولات التي لم يكتب لها النجاح "أنا لم أفشل، أنا فقط وجدت 10.000 طريقة لا تعمل" (Pederson, 2008)؛ فقرر حينها إديسون تجربة خيوط قطنية مكرّبة Carbonized cotton thread filament، وعندما تم تطبيق الجهد على المصباح المكتمل، بدأ يشع وهجاً برتقالياً ناعماً، وبعد حوالي خمس عشرة ساعة من عمل المصباح المستمر، احترق أخيراً الخيط المستخدم، وبعدها أنتجت المزيد من التجارب شعيرات يمكن أن تحترق لفترة أطول مع كل اختبار، وتم منح براءة الاختراع رقم 223898 لمصباح إديسون الكهربائي (Jenkins & Nier, 1984; Wachhorst & Millard, 1991); على مر التاريخ، يُعد إختيار المواد داخل مراحل عملية نمذجة

وفي أحد الأيام، كان إديسون جالساً في مختبره، وهو يلف قطعة من الكربون المضغوط بين أصابعه، بدأ في تفحيم المواد لاستخدامها في الخيوط، إختبر الخيوط المتفحمة لكل نبات يمكن تخيله، بما في ذلك خشب البايود وخشب البقس والجوز والأرز والكتان والخيزران، حتى أنه اتصل بعلماء الأحياء الذين أرسلوا إليه أليافاً نباتية من أماكن في المناطق الإستوائية، إعترف إديسون بأن العمل كان شاقاً ومتطلباً للغاية، خاصة على عماله الذين يساعدون في التجارب (McPherson, 2013)، لقد أدرك دائماً أهمية العمل الجاد والتصميم، وتنوع المواد المستخدمة ومدى ملاءمة جميع العناصر.

فيقول إديسون عن تجاربه العديدة "قبل أن أنتهي من ذلك، إختبرت ما لا يقل عن 6000 مادة من الزراعات النباتية، وبحثت في جميع أرجاء العالم بحثاً عن أنسب المواد"، "لقد

وكما هو الحال مع أي تقدم تكنولوجي، فإن الإكتشاف الأولى لمادة جديدة يتبعه سلسلة من الإكتشافات الإضافية، والتي بدورها تعمل على توسيع نطاق الإختراع أو الإكتشاف الأصلي (Richter et al., 2010)، وتستمر عملية التحسين على حدود وقدرات المادة الجديدة حتى تبلغ الأهداف المرجوة منها، وتُعرف أي خطوة من عمليات التحسين على أنها تسلسل متدرج في خصائص المادة والتعرف الكامل عليها إستناداً إلى التجربة والخطأ (Wang et al., 2014)، وكل خطوة تعتمد كلياً على الخطوات التي تسبقها، وتكون بمثابة نقطة الإنطلاق لما قد يليها في المستقبل القريب، ويمكن تعريف كل هذه المراحل على أنها التقنية الصناعية لمجال معين من علوم وهندسة المواد.

كما أن عند تعذر ملاءمة إحدى المكونات لتواجد مادة معينة، سيؤدي بالضرورة إلى إجبار فريق التصميم على التفكير في البدائل الثانوية، أو محاولة ابتكار مادة جديدة، أو إلغاء المنتج، مع ملاحظة أن ابتكار مادة جديدة يضيف عبء التكلفة، وكذلك المخاطر المحتملة القائمة على جهود التطوير (Gopalakrishna & Chatterjee, 1992)، ومع ذلك، تكون المخاطر المضافة لعملية الإبتكار جديرة بالإهتمام وممارسة التجربة والمجازفة أحياناً، وتوفر ميزة تنافسية للشركات المتنافسة، وقد يكون إلغاء المنتج أمراً مطروحاً للنقاش والتنفيذ، بالرغم من أنه أمر غير مرغوب فيه (Yoon & Lilien, 1985)، ويوضح شكل (6) الخطوات الأساسية في عملية إختيار مادة ذات خصائص معينة لتلائم أجزاء المنتج؛ لكن بغض النظر عن عملية إختيار المواد المستخدمة، تظل مراحل تطوير المنتجات الموازية لعملية تطوير المواد والتقنيات المصاحبة لها أمراً حتمياً.

ويجد المصمم العديد من التساؤلات المُلحة عند عملية إختيار المواد المناسبة لمنتج محدد (Alexopoulos et al., 2018)، لأن إختيار المواد هو قرار يتم إتخاذه في المرحلة المبكرة من عملية تصميم وتطوير أي منتج جديد، ولكن هذا القرار له تأثير كبير على دورة حياة المنتج النهائي كاملة، وتكون النتيجة دائماً لإختيار مادة مناسبة هي إناج المنتج، بداية من خطوات التصميم والتطوير لجميع أجزاء المنتج، مروراً بعمليات التشغيل والتصنيع والإنتاج الكمي للمنتج النهائي، وكذلك مرحلة التجريب والاستخدام الفعلي، وبيان ملاءمة المنتج لعمليات التفاعل ومدى تحقيق الإستعمالية (Yamamoto & Lambert, 1994)، وحتى أثناء عملية إعادة تدوير المنتج، لكن مع ملاحظة أن المادة لها مجموعة عمليات تصنيع وتشغيل محددة يمكن أن تشترك بها، حيث أن ليست كل المواد مناسبة لجميع العمليات (Bohanec, 2022)، وبالرغم من ذلك كله، هناك عدد من العوامل المشتركة بين قرارات إختيار المواد المناسبة والعملية التصنيعية وشكل المنتج النهائي.

كما تتوسع مجموعة المواد المتاحة بمعدل مرتفع، مع مرور الوقت يتم إختراع مادة جديدة ذات خصائص مرجوة، أو إكتشاف مادة لم يكن يعرفها البشر من قبل، مما يمنح المصممين خيارات واسعة للمواد داخل منتج محدد، وعندما يتم تقديم مادة جديدة داخل مجال التصميم، تقوم العقول المبدعة بفحص المادة وإجراء العديد من الإختبارات عليها، وإستنتاج

المنتجات أمراً بالغ الأهمية، وذلك لتحقيق النجاح على المدى الطويل، بداية من عمليات التصنيع والإنتاج لأي من الأجزاء المُكونة للمنتج، وحتى بلوغ مرحلة الاستخدام الفعلي للمنتج وبيان نجاح عامل الإستعمالية (Nada & Dawood, 2022)، وتكون الإختيارات المناسبة للمواد أمراً ضرورياً في توفير حلول هندسية مخصصة للمعالجات التصميمية المطلوبة، كما أن وظائف المنتجات تعتمد بشكل رئيسي على الخصائص الميكانيكية لأداء المنتج كما هو مُصمم، ويعني ذلك القضاء على المخاطر بشكل كبير أو قابلية تعطل المنتج عن أداء الوظيفة (Jans & Degraeve, 2008)؛ فإن فهم العوامل في إختيار المواد في هندسة الأجزاء والمكونات العامة وحتى الهيكل الخارجي سيضمن أن المنتج لديه أفضل الفرص في النجاح.

ويسعى المصمم دائماً لإنجاح المنتج بشتى الطرق الممكنة (Amer & Dawood, 2020)، ومع تواجده العديد من الصعوبات في عملية إختيار المواد، يمكن أن تكون العملية التصميمية لمنتج معين عملية صعبة وقد تصل إلى المستحيل، لندرة توافر خصائص المادة المطلوبة في زمن معين، ومع التقدم التكنولوجي والتطورات المتلاحقة، يقابلها بالطبع تطورات مصاحبة في علوم وهندسة المواد (Dawood, 2021b)، تعمل على تيسير وظيفة المصمم، وتقدم له العديد من الخيارات الناجحة للكثير من المواد التي يمكن إستغلالها، ونظراً لقيود بعض المواد في أزمنة معينة، ومحدودية خصائص تلك المواد حينها، وظهرت منتجات مستحدثة قد حلم بها العديد من مصممي المنتجات الصناعية في أزمنة سابقة، وذلك بعد توافر مواد معينة سواء عن طريق الإكتشاف أو الإختراع (Dawood, 2021a)، وتم حل العديد من مشكلات التصميم في منتجات أخرى عن طريق تطبيق مادة أو عملية جديدة، ويمكن للخصائص الفريدة لمادة مُكتشفة حديثاً – البوليمرات على سبيل المثال – أن تجعل الشكل العام لهيكل المنتجات أكثر ديناميكية، وتشكيل المنتجات والأجزاء الداخلية بطرق لم يتم النظر فيها من قبل، وسيتم إكتشافات عديدة تؤثر على تقديم خطوات وحلول أفضل داخل عمليات تصميم وتطوير المنتجات.

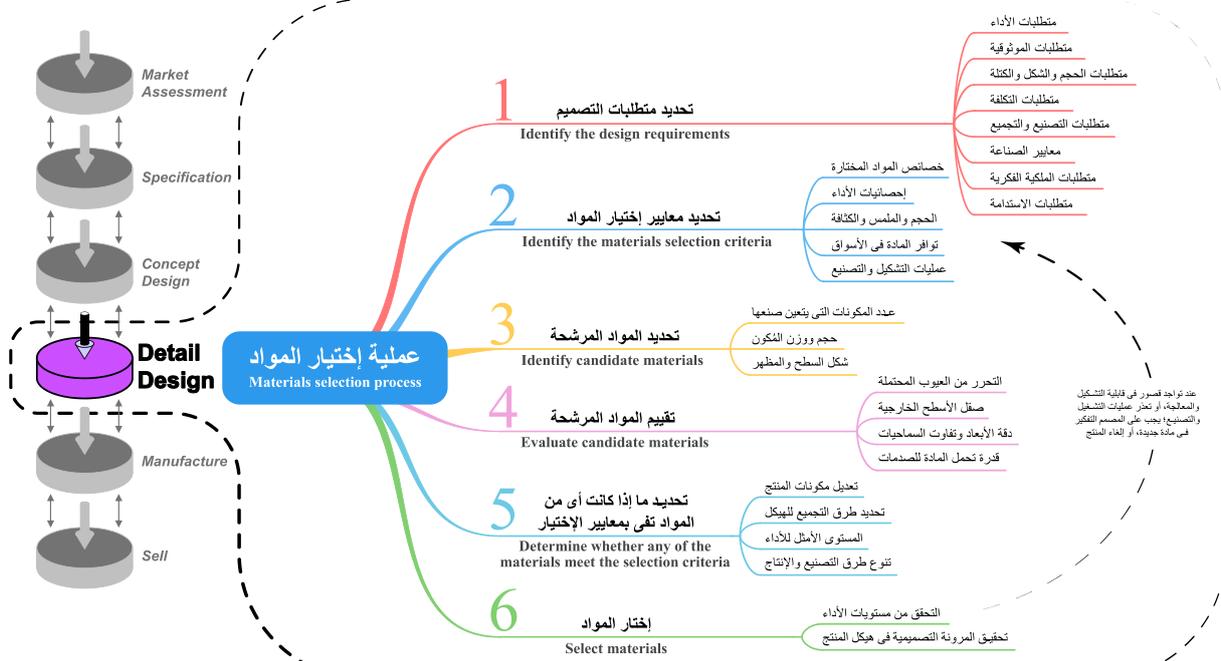
3- دور علوم تصميم وتطوير المنتجات في إبتكار مواد جديدة:

في واقع الأمر، تعتمد قدرات جميع هياكل المنتجات الصناعية المبتكرة على خصائص المواد التي يتم تصنيعها منها، وتكتسب منها المنتجات الصناعية خصائصها الفيزيائية للهيكلي الخارجي (Dawood, 2017)، كما أن تطوير مواد جديدة يفتح باب الممكّنات لتواجد أجهزة وتطبيقات جديدة كلياً؛ فالعملية التصميمية في جوهرها تعتمد على مدى معرفة المصمم بالتقنيات المختلفة الخاصة بالمواد المقترح ترشيحها ضمن عملية التصميم وإنتاج أجزاء هيكل المنتج المستهدف، ومن أهمية المواد أنها يمكن أن تحدد الفروق في تصميم الأجزاء، وإجراء عمليات التشغيل والتصنيع عليها (Ahmed et al., 2022)، وتمنح المصمم خيارات التعديل طبقاً لمتطلبات التصميم عنصر محدد أو عناصر مجموعة داخل المنتج.

وغالباً ما تكون المواد أحد أهم دعائم إتخاذ قرارات التصميم،

بين المواد صعبة، وإختيار خصائص معينة للمواد هي مصدر كبير لقصور عام في يقين المصمم (Schweitzer & Fuchs, 2007)؛ فقد تكون خصائص المواد متفرقة في الكيفية، وتقاس بأساليب تجريبية لا يمكن مقارنتها بشكل مباشر، وحينها يتعرض المصمم لتشتتاً إحصائياً كبيراً.

خصائصها من ناحية المظهر والمتانة والملمس وتعدد الألوان... وغيرها من الخصائص التي تميز تلك المادة (Pezzotta et al., 2016)، وعادة ما تخضع مشاكل إختيار المواد لقيود وأهداف متعددة، ونظراً لإختلاف طبيعة كل خاصية داخل المادة عن الأخرى، وتقاس بوحدات غير متكافئة مثل الكتلة والتكلفة، مما يجعل المقارنة بين تعدد الخصائص



شكل (6) المراحل الأساسية في عملية إختيار المواد المناسبة لمراحل التصميم والتصنيع والإنتاج

وذلك لتعذر إيجاد طاقة تقليدية دائمة دون توقف مثل مشتقات البترول، والتي تعمل عليها معظم المركبات الأرضية برأً وبحراً وجواً، وبالرغم من أن وكالة ناسا لأبحاث الفضاء لم تكن أولى المخترعين لألواح الطاقة الشمسية، إلا أنها كانت أكبر مصدر لتطويرها إلى ما نعرفه اليوم (Alkan et al., 2018).

عمل المخترعون الأوائل لتكنولوجيا الطاقة الشمسية لأكثر من قرن ونصف، ولا تزال التحسينات في الكفاءة والنواحي الجمالية مستمرة حتى الآن (Nathanson, 2021)، حينما بدأ الأمر مع إدموند بيكريل Edmond Becquerel، عالم فيزياء شاب يعمل في فرنسا، لاحظ وإكتشف عام 1839 التأثير الكهروضوئي للألواح، والتي هي عملية تنتج جهداً أو تياراً كهربائياً عند التعرض للضوء أو طاقة مشعة، وبعد بضعة عقود، إستوحى عالم الرياضيات الفرنسي أوغستين موشوت Augustin Mouchot من العمل السابق، وبدأ في تسجيل براءة إختراع للمحركات التي تعمل بالطاقة الشمسية في ستينيات القرن التاسع عشر، وبعدها إستوحى عدد من المخترعون براءات إختراع للأجهزة التي تعمل بالطاقة الشمسية منذ عام 1888، وقبلها بعدة أعوام، وتحديداً في عام 1883 عندما أنشأ مخترع نيويورك تشارلز فريتس Charles Fritts أول خلية شمسية، عن طريق طلاء السيلينيوم Selenium بطبقة رقيقة من الذهب، وأفاد فريتس أن وحدة السيلينيوم أنتجت تياراً مستمراً وثابتاً وذو قوة كبيرة، حققت حينها هذه الخلية معدل تحويل طاقة من 1 إلى 2 بالمائة، وبعد بضع سنوات فقط في عام 1888، حصل المخترع إدوارد ويستون Edward Weston على براءتي إختراع للخلايا الشمسية، براءة الإختراع الأمريكية 389124 وبراءة الإختراع الأمريكية 389425 (Gevorkian, 2007)، ويوضح شكل (7) الألواح الشمسية الأولى لتشارلز فريتس

ببسبب كل هذه الشكوك الكبيرة، غالباً ما تكون مشاكل إختيار المواد عملية معقدة للغاية، وتستند تلك القرارات في أغلب الحالات إلى الحدس التوقعي أو سابقة التجربة أو قد تعتمد بشكل كبير على سمات معالجة محددة ضمن الخصائص المتاحة، وهذا النهج يمثل مشكلة واضحة لأن نتائج إختيار المواد تتعكس بشكل مباشر في مشاكل استخدام المنتج، وتكون غير منطقية ولا يمكن حلها بشكل حدسي، وتسبب للمستخدم إرباك واضح أثناء عملية التفاعلات (Gopalakrishna & Lilien, 1995)، وكذلك التصميم القائم على سابقة التجارب ليس مناسباً في مواجهة مواصفات التصميم المتغيرة والتطور الحاصل بها؛ فيلجأ حينها المصمم إلى إختيار نهج هجين يستند إلى الإختبارات الميدانية لتحديد مدى ملاءمة المواد المستخدمة.

وتبعاً لكل تلك الخطوات المتخذة لإختيار أفضل البدائل المتاحة للمواد، لا تزال عملية التصميم في إحتياج متزايد من ظهور المواد الأكثر تطوراً داخل عمليات تصميم المنتجات؛ فبعض الإختراعات للمواد تم إيجادها لسد فجوة تكنولوجية معينة، تمت الدراسة على العديد من المواد لإبتكار مادة جديدة قد تفي بالغرض (Popkova et al., 2018)، ويتم تمويل الأبحاث الأولية لتلك الإكتشافات من هيئات ومؤسسات قادرة على ذلك لأغراض خاصة بها، مثل الهيئات العسكرية كالجيوش، ووكالات إكتشاف ودراسة علوم الفضاء مثل وكالة الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء NASA، ووكالة ناسا عملت على العديد من المشروعات لأغراض إكتشاف الفضاء، ولعل أكثرها شهرة هي تصميم ألواح الطاقة الشمسية Solar panel تعمل بكفاءة عالية، والتي تعمل على إمداد جميع المنتجات التي تسبح في الفضاء بالطاقة الدائمة من الشمس مباشرة،

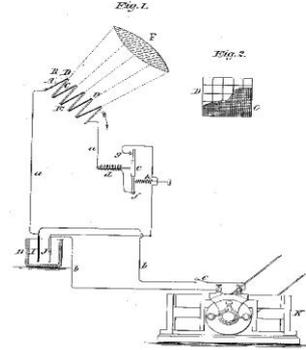
لاستخدام الطاقة المشعة الشمسية.



قام تشارلز فريش بتثبيت الألواح الشمسية الأولى على سطح مبنى في مدينة نيويورك عام 1884 بلان من جون بيرلين

على سطح المبنى، و براءة اختراع جهاز إدوارد ويستون

(No Model.)
E. WESTON.
APPARATUS FOR UTILIZING SOLAR RADIANT ENERGY.
No. 389,124.
Patented Sept. 4, 1888.



WITNESSES:
Charles Westcott
Edgar Snowden

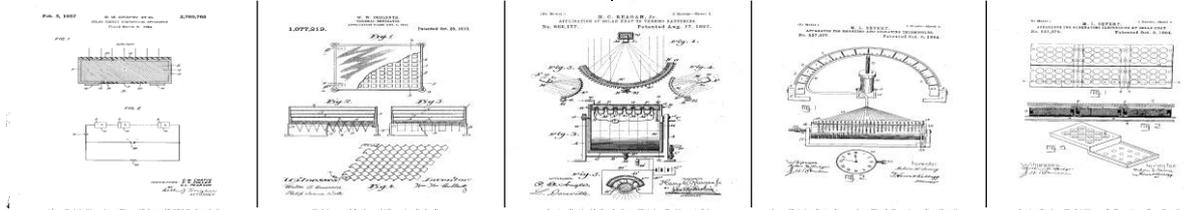
INVENTOR:
Edward Weston
By Paul Benjamin
ATTORNEY

براءة اختراع "جهاز إدوارد ويستون لاستخدام الطاقة المشعة الشمسية" في 4 سبتمبر 1888 براءة الاختراع الأمريكية ٣٨٩١٢٤

شكل (7) الألواح الشمسية الأولى لتشارلز فريش، وبراءة اختراع جهاز إدوارد ويستون

وتولت بعدها التطورات المستمرة والمتلاحقة داخل مجال تطوير ألواح الطاقة الشمسية (Roy, 1998)، وإطلاق جهاز ميلفين إل. سيفري Melvin L. Severy's لتوليد الكهرباء، وأيضاً جهاز ميلفين إل. سيفري Melvin L. Severy's لتوليد الكهرباء عن طريق الحرارة الشمسية، والحاصل على براءة اختراع في 9 أكتوبر 1894، وتطبيق هاري ريغان Harry Reagan للحرارة الشمسية التي تعمل على البطاريات الحرارية، والمسجل ببراءة اختراع في 17 أغسطس 1897، والمولد الحراري لوليام كوبلنتز William Coblantz الخاص بشركة Coblantz، والحاصل على

براءة اختراع في 28 أكتوبر 1913، وجهاز تحويل الطاقة الشمسية الذي يملكه دارلي شابن D.M Chapin وآخرون Daryl Chapin, Calvin Fuller, and Gerald Pearson، والحاصل على براءة اختراع في 5 فبراير 1957، ويوضح شكل (8) براءات الاختراع التي أسهمت بشكل مباشر في تطوير تقنية الألواح الشمسية، والتي كان لها الدور الريادي في وصول تكنولوجيا الخلايا الشمسية إلى الشكل الموجودة عليه اليوم (Mondal & Bansal, 2015).



جهاز تحويل الطاقة الشمسية التوليدية - D.M Chapin والحرارة

المولد الحراري الخاص بشركة Coblantz

تطبيق ريغان للحرارة الشمسية على البطاريات الحرارية

جهاز ميلفين إل. سيفري لتوليد الكهرباء عن طريق الحرارة الشمسية

جهاز ميلفين إل. سيفري للتحليل والتصنيع الحرارية

شكل (8) براءة اختراع جهاز ميلفين إل. سيفري، وتطبيق هاري ريغان، ومولد وليام كوبلنتز، وجهاز دارلي شابن

متوازي مع تقنيات التصنيع والإنتاج في عصر المعلوماتية، أنتج ذلك أجيالاً جديدة من المنتجات التفاعلية، بعد أن إنتقلت علوم التصميم من مرحلة التصميم التقليدي للهيكل الخارجي، إلى مرحلة متقدمة من تصميم هياكل منتجات لها طابع ديناميكي جذاب، ومنها إلى بدايات ما يسمى بالتقنيات التفاعلية، ودمجها داخل المنتج.

4. تحسين واجهة المستخدم/خبرة المستخدم والتحول نحو التفاعلية:

منذ أولى المجتمعات الحضارية التي أنشأها الإنسان، ويعتمد البشر على المواد الموجودة من حوله، وبها أبدع الإنسان في صنع أدواته ومعداته المختلفة، واستخدامها في تدليل العديد من العقبات وتسهيل إجراءات حياة اليومية، وتطور إكتشاف العديد من المواد مع الثورة الصناعية الأولى، وهي تمثل إنتقال الصناعة من القوة العضلية للإنسان إلى الطاقة الميكانيكية للآلات، وتحويل نطاق الحياة من القرى والحقول والمزارع، إلى المدن الحديثة والمصانع (Ljungberg, 2007)، وتم تخليط الكثير من المواد الأخرى مع دخول العالم الثورة الصناعية الثانية، والتي فيها تم التوسع في الصناعات الإنتاجية بشكل كمي، وظهور علوم التصميم والتطوير للمنتجات

كما أن الألواح الشمسية وتكنولوجيا الطاقة الشمسية قد قطعت أشواطاً عديدة من التطوير كغيرها من المنتجات (Fudholi et al., 2010)، حتى وصلت لأن تكون بالشكل المتواجد حالياً، ومتوافقة مع تقنيات المواد الموجودة؛ فجميع أفكار المنتجات بوجه عام بدأت بفكرة مجردة، وإنتقلت بعدها إلى تصميم قد لا يمكن تنفيذه، وبعدها تم إختبار العديد من المواد للتأكد من صلاحيتها وإختبار مستويات الأداء، وصولاً إلى منتج بدائي وشبه مكتمل يمكن تطويره فيما بعد بشكل متوازي مع ابتكارات علوم وهندسة المواد (Roosenburg & Eekels, 1995)، لذا فإن هذه الاختراعات الحاصلة على براءة اختراع هي دليل دامغ على أن التكنولوجيا المتطورة في علوم وهندسة المواد لا تزال تعمل على تحسين كفاءتها وجمالياتها، وكذلك تنوعها وتوافر مستحدثاتها في عمليات التصميم والتطوير للعديد من المنتجات التفاعلية، وقد مرت تطورات علوم وهندسة المواد بمراحل عديدة، وطرق إستكشافية مختلفة منها المواد الموجودة في الطبيعة الأم، وكذلك المواد المخلفة طبقاتاً مثل المركبات والتي تقدم خصائص فائقة عن المواد الأصلية، وأيضاً المواد المصنعة طبقاً للخصائص المطلوبة، ومن خلال تطور المواد بشكل

المنتجات التقليدية تحت مسمى وسائل البيان والتحكم، كانت نتيجة القيود الحدود الموجودة للمواد حينها، وهي عبارة عن أزرار ووحدات تحكم، وكل منها لديه وظيفة محددة، إما أن يكون لإرسال بيان محدد للمنتج، أو يكون لإستقبال معلومة عن شيء ما بداخل المنتج (Ayuningtyas & Janah, 2018)، وانتقلت فيما بعد لتكون متمثلة في شاشات رقمية بدائية، ولكنها كانت تقي بالغرض وتقوم بعرض بعض الرسائل للمستخدم، وبعد التطور الثوري الحاصل في علوم وهندسة المواد بظهور البوليمرات وأشباه الموصلات، تم تصغير مكونات التحكم كالأزرار التي تستخدم في عمليات الإدخال، حتى تلاشت في العديد من المنتجات ليتم إحلالها عن طريق شاشات اللمس Touch Screen مع إستحداث منظومة برمجيات المنتجات، والتي يكون التفاعل معها عن طريق اللمس (Lee et al., 2017)، وبها أيضاً عرض للمعلومات التي يحتاجها المستخدم.

أيضاً يعمل المصمم على تحسين إستعمالية المنتجات، من خلال قراءة الأحداث والتطورات، وإتخاذ الخطوات الإستباقية في إختبارات المواد، وإختبار الأكثر تناسباً مع وظيفة الأجزاء المكونة للمنتج، أو التطلع إلى مواد حديثة مازالت قيد التجريب، لكن نتائجها قد تكون واعدة، ويجد أمامه العديد من الخيارات المتعددة، يمكن تجريبها والحصول على الأفضل من بينها (Alomari et al., 2020)، ويوضح شكل (9) المستويات المختلفة لتطور المنتجات والمواد المصنعة منها عبر التاريخ الموثق، وما يمكن تحقيقه في المستقبل القريب من خلال تحديات إبتكارات المواد في العصر الحالي، وكذلك العصر التالي والذي يتحدد هويته حالياً من خلال الإكتشافات والإبداعات البشرية الحالية في علوم وهندسة المواد.

نجد أن التطورات الثورية والمتلاحقة في علوم وهندسة المواد، دائماً ما يستغلها المصمم في تطوير المنتجات والأنظمة الصناعية، ومنها تسهيل إجراءات التفاعل بين المستخدم والمنتج، ومن خلالها يمكن تعزيز عامل الإستعمالية بوجه عام، وبعد الإنتقال من التحكم في المنتج عن طريق الأزرار، إلى الشاشة التفاعلية التي تعمل عن طريق اللمس سيطرت على أغلب المنتجات في العصر الحالي، وانتقل حينها مجال تصميم وتطوير المنتجات إلى مستوى جديد، أطلق عليه المنتجات والأنظمة التفاعلية، ومنه إلى مستوى آخر من المنتجات الذكية وآلات لديها القدرة على التعلم الذاتي، وكان لعلوم وهندسة المواد، وكذلك التقدم التقني الحاصل بهذا المجال، الفضل الكبير على ظهور تلك الإبداعات البشرية وخروجها إلى الوجود، وكانت بداية حقبة جديدة من المنتجات السلوكية، وتطورت حينها واجهات المستخدم مرة أخرى وأصبحت أكثر فاعلية، وكانت معظمها عن طريق التفاعل الطبيعي للكائنات الحية، وهو عبارة عن الإيماءات والإشارات والتلفظ اللغوي، وتلك المنتجات لها تواجد سلوكي مناسف للكائنات الحية، وكانت تلك الكائنات السلوكية سُميت الروبوت، وهو آلة متطورة لديها القدرة على العمل بذكاء (Joo, 2017)، حينها أدرك المصممون أن لديهم القدرة على إبتكار العديد من المنتجات المستقبلية، والتي يمكنها أن تؤثر على حياة البشر وتحسين إستعمالية المنتجات.

ويكون التعرف على تجربة التفاعل العامة مع المنتجات التفاعلية والمستقبلية وكذلك الأنظمة الروبوتية، عن طريق شقين رئيسيين في عملية الاستخدام، وهم تصميم واجهة المستخدم UI – كيف تبدو أشكال العناصر والمجسمات؟، وتصميم خبرة المستخدم UX – كيفية عمل المكونات والأشياء؟ (Ritter & Winterbottom, 2017)، ويوضح شكل (10) تطور واجهات التفاعل في المنتجات وخبرة المستخدم عبر العصور، ومروراً بالوقت الحاضر، ووصولاً

والأنظمة الحياتية، وتم تصنيع مواد مخلطة منذ بداية الثورة الصناعية الثالثة، وتشكلت ملامح المعلوماتية ضمن المنتجات اليومية التي يتفاعل معها البشر، وحينها وُجدت حالة مُلحة في إيجاد مواد مستحدثة لتغيير ملامح منتجات التاريخ البشري (Ashby & Johnson, 2014)، وبدأ مصطلح الرقمنة في الظهور بشكل كبير في تصميم المنتجات والأنظمة، والتوجه في محاولات جادة إلى زيادة مستويات الأتمتة التي توجد في المنتجات والأنظمة التفاعلية.

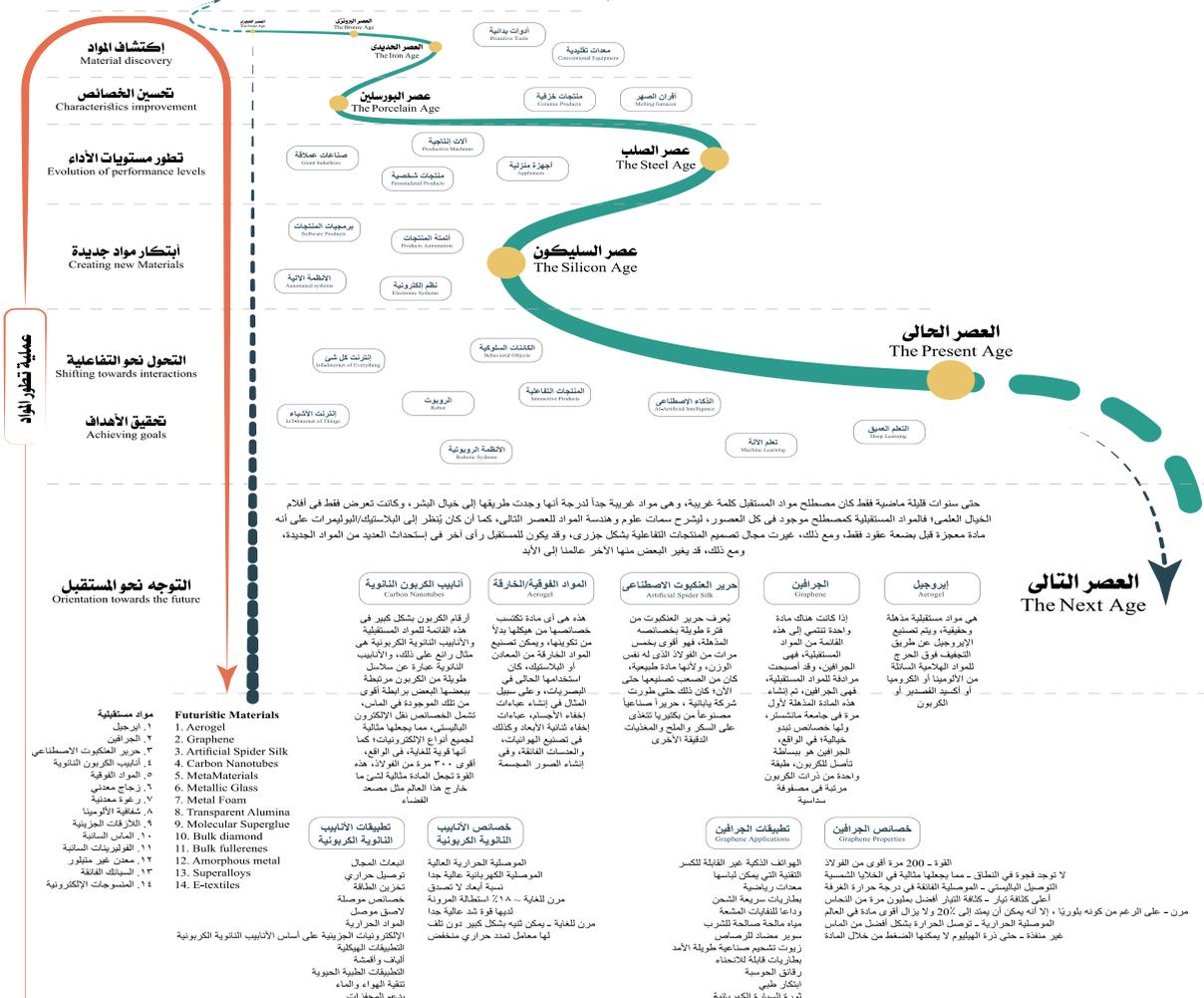
كما يعد عامل السرعة في تطور وإستحداث التقنيات، هو بمثابة المحدد الأول لمدى تقدم العصر الحالي، والإستدلال على مدى تقدم الحضارات داخل المجتمعات الحديثة (Raizman, 2020)، والعصر الحالي من تاريخ البشرية يتسم بالسرعة والتطور المتلاحقين في جميع نواحي تقنيات المواد، ومع بدايات الثورة الصناعية الرابعة كانت ملامح التكنولوجيا الرقمية قد بدأت في التشكل من جديد، وإتخذت طابعاً تفاعلياً وذكياً، وأصبحت المنتجات ليست فقط الشكل الخارجي هو من يمثلها، بل أيضاً البرمجيات التي بداخلها تعبر عن مستويات الأداء، كما توغل ما يعرف بثورة الذكاء الإصطناعي وتعلم الآلة بداخل المنتجات التي تتعامل معها يوماً، وهو ما يمثل القوة المعرفية للآلة من خلال الإنتقال من البدائية إلى مستقبل ما بعد الحداثة، وخاصة المعالجات الإلكترونية للبيانات – وحدة المعالجة المركزية - CPU Central Processing Unit – ويقصد بها جميع المعالجات المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية الحديثة، مثل التي بداخل الحاسب الآلي والهاتف الذكي... ومثباتها من المنتجات (Ljungberg & Edwards, 2003)، والذي كانت منتجاتها لها النصيب الأكبر في عمليات التصميم والتطوير الجذرية التي تتم على أي منتج، وتطورت تلك المنتجات من الشكل التقليدي إلى ديناميكية الهيئة الخارجية، بل وأيضاً تطور المستوى الأدائي أيضاً، وتميزها البرمجيات الحديثة وتصميم واجهات المستخدم بالسرعة والدقة الغير مسبوقة (KLYOSOV, 2008).

وبعد أن قطعت البشرية شوطاً كبيراً من التطورات التكنولوجية المتلاحقة في علوم وهندسة المواد، والتاريخ البشري حافلاً بنتائج تلك الإنجازات الإبتكارية في جميع المجالات، وخاصة مجال تصميم وتطوير المنتجات التي تعمل على تيسير حياة الإنسان (Ashby, 2012)، ومع التقدم الهائل في علوم وهندسة المواد في عصرنا الحالي، تغيرت ملامح المنتجات التقليدية إلى منتجات تفاعلية منذ وقتها وإلى الأبد، وأصبحت حينها تصميم المنتجات يعتمد بشكل مباشر على تقنيات المواد المستحدثة، وذلك لتصميم واجهات المستخدم لإتمام عمليات التفاعل المباشر بين المستخدم والمنتج، وتقلص دور المواد التقليدية القديمة (McDowell et al., 2010)، والتي تستخدم غالباً في تشكيل وصناعة هياكل المنتجات، نظراً لإحتياجها إلى عامل القوة والمتانة، وتوسع العالم في استخدام المواد المستحدثة مثل البوليمرات وأشباه الموصلات والمواد الذكية ومواد تقنية النانو، وذلك لقدرتها العالية في تفادي الكثير من عيوب المواد السابقة، وكذلك زيادة مميزاتها عن نظيرتها التقليدية، وإكساب المنتجات الصناعية من خلالها الطابع التفاعلي الفريد (Rognoli et al., 2011)، وهو الأمر الذي أصبح مألوفاً لدى العديد من المستخدمين الحاليين.

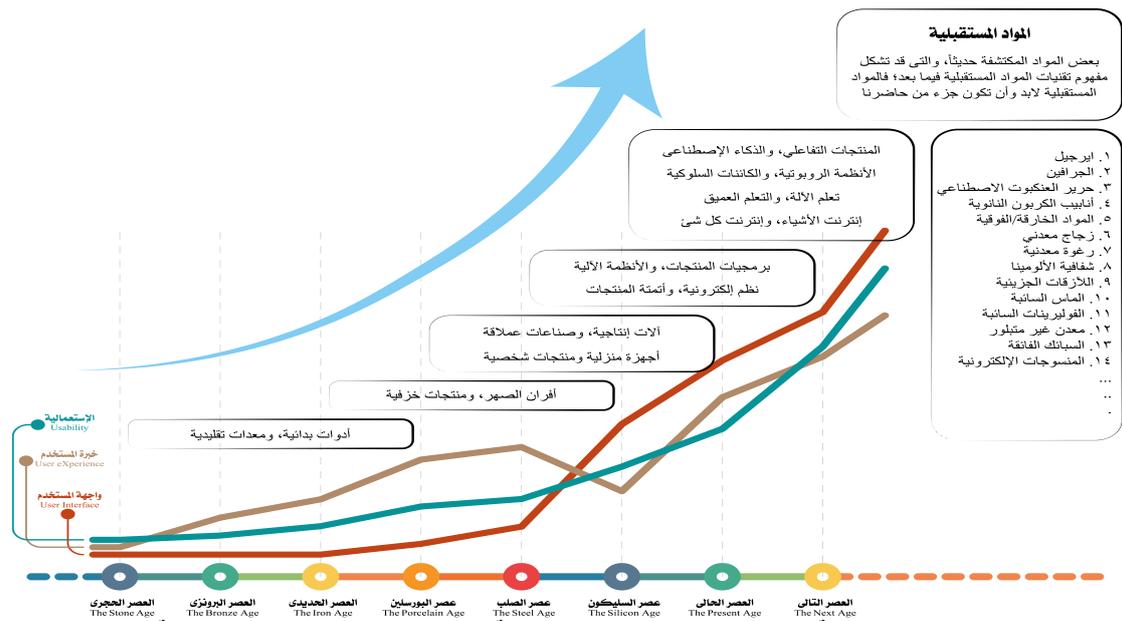
فتواجد مفهوم واجهة المستخدم UI وخبرة المستخدم UX في أغلب المنتجات التي يتفاعل معها البشر مؤكداً منذ أقدم العصور، ولكنه تأكد بعد بداية الثورات الصناعية حيث أن المنتجات تم تطويرها لتقوم بعمليات محددة، وكان هناك دواعي لإيجاد لغة حوار للتفاعل مع الآلة؛ لكنها قد تكون بأشكال مختلفة عن غيرها، وكانت في السابق توجد داخل

وتقليل التكلفة؛ فنكون النتيجة منتجاً أقرب إلى المثالية، ويعمل على تحسين إستعمالية المنتجات.

إلى المستقبل القريب، والتحولت التي يأمل لها المصمم في جميع منتجاته دائماً مثل تخفيف الوزن، تصغير الحجم، قوة ومتانة أعلى، أقل ضرراً على البيئة، زيادة عامل الإستدامة،



شكل (9) مستويات تدرج تطورات مجال تصميم المنتجات الموازي لتطورات علوم وهندسة المواد عبر التاريخ الموثق



شكل (10) تحسين واجهة المستخدم وخبرة المستخدم وإستعمالية المنتجات من خلال تطور علوم وهندسة المواد (adapted from: Paduraru, 2021; Hillmann, 2021; Eui-Chul & Kyungbo, 2015; Hopkins, 2017)



يمكن للمستخدم أن يقوم بنور الحكم

منضدة تنس الطاولة تفاعلية

توضيح الهيئة العامة للعامة للاستخدام أثناء بدء التشغيل والاستخدام

عسلة ملابس على شكل مدار كوكبي

شكل (11ب) بعض المقترحات المقدمة من المصممين لمنتجات مستقبلية

(Chernyshev, 2020; Ahirwar, 2021; Mistry, 2020; Sowards, 2012)

- المكونات والأجزاء الداخلية أيضاً، ويتم إنتاجها من المواد الموجودة المكتشفة أو المُخلطة أو المُصنعة.
- ناقش البحث تأثير تطور علوم وهندسة المواد على تطوير المنتجات وتحولها نحو التفاعلية، ومنها التوجه نحو المستقبل في مدى توافر البدائل والمعايير المتاحة في مشاكل إختيار وتوافر المواد، ولا تزال هناك حاجة لتعزيز قدرة أساليب إختيار المواد المناسبة للتصميم على أساس الخصائص المتاحة أو التي يمكن تصنيعها.
- تلعب المواد دوراً هاماً داخل عملية تصميم المنتجات بمختلف أشكالها، أي أن السمات الأساسية للمواد وخصائصها تحدد طبيعة المنتج أو قد تحد من المهام، لأن المنتجات وُجدت لتحقيق بعض أهداف الأداء، والتي يتم تحديدها من خلال مراعاة مواصفات التصميم من ناحية إختيار المواد الأنسب لتلك العمليات.
- إحتياج مجال التصميم إلى الكثير من التركيز على أهمية عمليات إختبارات النمذجة المادية، باعتبارها العامل الأول في تقييم المواد ومدى ملاءمتها داخل أجزاء المنتج المُصمم، وسيسمح ذلك للمصممين بأن يكونوا قادرين على تقييم المواد المختلفة بسهولة، ومقارنتها مع خصائص مختلفة ومؤشرات أداء وتكاليف في وقت واحد.
- مواكبة مستحدثات تقنيات علوم وهندسة المواد يثرى العملية التصميمية للمنتجات التفاعلية والمستقبلية، وابتكار منتجات تنسم بالأشكال الديناميكية الجاذبة، وتعزز مفهوم إستعمالية المنتجات وتثرى نوعية الحياة بوجه عام، حيث إن فحص وإختبار المواد يعد شرطاً أساسياً لمرحلة الإختبارات النهائية لنموذج الإنتاج الفعلي.
- قد يكون من الممكن في الإصدارات المستقبلية من عمليات تصميم وتطوير المنتجات التفاعلية وجود برامج وأدوات محاكاة للمواد وكيفية إختبارها بواقعية، ويتم دمجها مع التصميم مع الأخذ في الإعتبار دور إختيار المواد في التصميم الحالي بشكل مترام داخل محاكاة الإختبارات الفيزيائية للمواد والمنتجات.

6- توصيات البحث Recommendation:

- ضرورة إهتمام مؤسسات التعليم العالي بالأبحاث الإستكشافية، والتي تعمل على ابتكار العديد من المواد الجديدة ذات خصائص محددة يحتاجها المصمم لتشكيل أجزاء المنتج النهائي.
- تطوير مقررات التصميم علوم وهندسة المواد بكليات

كما يجد المصمم توقعات كبيرة، وآمال قد تكون حاملة من المستخدمين عند تصميم وتطوير المنتجات والأنظمة، وفي أغلب الأحيان يتطلع المستخدم إلى المزيد، وتم رصد العديد من تلك التوقعات التي يأمل جمهور المستخدمين بتحقيقها في المنتجات الموجودة بالفعل، أو بتصميم منتج جديد يحقق تلك الإحتياجات، مثل البطاريات التي لا تنتهي، أو على الأقل تستمر إلى عشرات السنوات، ومنتجات لديها طاقة داخلية غير منتهية، أو على أقل التقديرات يمكن تجديدها ذاتياً دون تدخل، والمواد الغير قابلة للتلف أو الكسر في بعض المنتجات التي تحتاج لهذه الخاصية، وجعل المنزل تفاعلي كاملاً دون الحاجة إلى تعب الإنسان في عمليات كثيرة، والحاسبات الآلية ذات القدرات الفائقة، والتي تساهم في عمليات ومراحل تصميم وتطوير المنتجات، وتطور الذكاء الإصطناعي وتعلم الآلة ليحل محل الإنسان في كل الأعمال التي تحتاج إلى ذلك، ودمج بعض التقنيات داخل الإنسان ذاته، لتعمل على تسهيل بعض الإجراءات مثل الكشف عن أي خلل عضوي أو تحديد موقعه الحالي، وتطوير بعض المهارات المعرفية لديه، ولكن لا يزال أمام البشرية العديد من الوقت لتحقيق ذلك.

والتقدم التقني له عدة طرائق خاصة في ابتكارات تصميم المنتجات، لكن تظل المواد غير الموجودة وغير المكتشفة أحد أهم عوائق طريق المصمم لتحويل إبداعاته إلى منتجات مادية ملموسة ويمكن استخدامها ضمن نطاق حياتنا العادية، ومع ظهور تياراً لا ينتهي من المواد المستقبلية المحتملة، مثل خشب نصف شفاف، أسمنت مضئ، طوب البناء الخفيف، أسمنت خرسانى لتعمير المريخ... وغيرها من الإكتشافات والابتكارات في عالم المواد، يمكن للمصمم إعادة التفكير في المنتجات والأنظمة التقليدية أو حتى التفاعلية منها مرة أخرى، وذلك لجعلها أكثر إبداعاً من الناحية الابتكارية الجمالية والوظيفية وأكثر إستدامة من التقليدية التي تسبقها وتعزز مفهوم الإستعمالية، وسيستمر المهندسون والعلماء والباحثون الآخرون في دفع حدود علوم وهندسة المواد؛ فلن يؤدي التقدم المادى إلى تحسين أنواع المنتجات التي يمكننا تصنيعها فحسب، بل سيعزز أيضاً الفرص في إنشاء عالم أكثر صحة وإستدامة وفعالية.

5- نتائج البحث Results:

- المواد الموجودة في الطبيعة هي المحرك الأول للإبداع البشرى عبر التاريخ، وكانت الابتكارات الإنسانية كلها مستلهمة من الطبيعة كأشكال الهياكل الخارجية ووظائف

تحسينات على واجهات المستخدم، والتي يمكن من خلالها التفاعل مع المنتج.

وبمجرد ذكر أو سماع كلمة منتج مستقبلي futuristic product يستحضر البشر على الفور صوراً لأشياء فائقة الحدثة في العقل، والشئ الأكثر إثارة للاهتمام في التصميم أو الشئ المستقبلي هو أنه يمكن بسهولة أن يترك الناس في حالة ذهول ويترك خيالهم يتدفق؛ فمن المتوقع مستقبلاً أن تزداد أهمية تجارب المواد، لأن جميع المنتجات المادية تحتاج إلى تلك المواد من أجل عمليات التصنيع والإنتاج، وحتى التقنيات الافتراضية والتي تعمل داخل نطاق رقمي تحتاج إلى وسائط فيزيائية وأجهزة مادية لتعمل من خلالها، وذلك ينطبق داخل مراحل وعمليات تصميم وتطوير المنتجات التفاعلية والمستقبلية أيضاً؛ فتواجد تلك التطورات في مجالات تصميم المنتجات يعمل كحافز رئيسي لتطور ممارسات تصميمية إبداعية جديدة، ويتم فيها التركيز على طرق التفكير المبتكرة، وتحسين مستوى العمليات الإنتاجية بطرق متنوعة جديدة، وكذلك يمكن الإستنتاج من خلال التطورات المتسارعة في علوم وهندسة المواد أنها المؤثر الأول على قرارات المصمم، لأنها تعمل كتأثير على الإختيارات المدروسة بعناية لتتناسب المواد للتصميم، وكعدسة تحليلية يمكن من خلالها إتخاذ قرارات مدروسة جيداً في تطوير المواد الجديدة، وإستحداث قدر كبير من مواد مستقبلية عمل على إدخال المزيد من التحسينات على عملية تصميم المنتجات.

8- الخلاصة Conclusion:

تتطلب عملية تصميم وتطوير المنتجات باختلاف أشكالها وأنواعها سواء كانت المنتجات التقليدية أو حتى التفاعلية منها الكثير من العمليات المتداخلة التفاصيل التي تتم داخل مراحل عملية التصميم وحتى بلوغ مرحلة الإنتاج والاستخدام الفعلي للمنتج المستهدف؛ فكانت ولا زالت عملية تصميم الأدوات المعدات المنتجات والأنظمة تعتمد بشكل رئيسي على مدى توافر المواد وتطورها، وتعد المواد المتاحة هي المحدد العام لإختيارات المصمم في تحديد خصائص المكونات العامة والعناصر الشكلية وكذلك الأجزاء الداخلية، وكلما كانت المواد المتاحة لعملية تصميم منتج ما بها تنوع كمي وكيفي، كانت عملية تصميم المنتجات مفعمة بالحيوية وأكثر مرونة؛ فيمكن تلخيص مشاكل إختيار المواد في فئتين أساسيتين وهما إختيار المواد بناءً على خصائص المادة ذاتها، وإختيار المواد بناءً على متطلبات تصميم المنتج، حيث تقترن خصائص المواد بخصائص الهيكل المادي، والخصائص الهيكلية ذات الصلة بالمكونات العامة، وتعد المعرفة الجيدة ببيانات خصائص المواد أمراً ضرورياً، من أجل صياغة الشروط والمتطلبات التي يقرها المصمم كمعايير هامة، ومجموعة القيود والحدود التي يتم وصفها بدقة، يمكن أن تكون مؤشراً ناجحاً لإختيار المواد المناسبة؛ كما يمكن تصنيف عوامل التصميم القائم على تحديات المواد إلى مجالين هما الأهداف والقيود، والأهداف هي ما يمكن تحقيقه بالفعل، أو الممكنات التي يتعين على المصمم تحقيقها داخل التصميم، والقيود هي العوامل والإشترطات التي يمكن من خلالها لتحديد ماهية خصائص المواد الممكن استخدامها والمطلوبة لتحقيق الأهداف العامة للمنتج.

9- مراجع البحث References:

1. Afsar, M. N., Birch, J. R., Clarke, R. N., & Chantry, G. W. (1986). The measurement of the properties of materials. *Proceedings of the IEEE*, 74(1), 183–199.

الفنون التطبيقية، مع ضرورة التركيز على أهمية فهم طبيعة المواد في التصميم، والتي هي أحد الدعائم الأساسية ضمن مراحل عملية تصميم المنتج.

■ حث طلاب كليات التصميم على الإلمام بعلوم وهندسة المواد ضمن المعارف الأساسية لهم، ومحاولة الوقوف على ما يمكن تحقيقه مستقبلاً من مواد حديثة، وتصميم منتجات ذات خصائص تفاعلية.

7- مناقشة Discussion:

لقد تطورت علوم وهندسة المواد ك مجال إجرائي تجريبي بشكل كبير، ويتم تطويرها بإستحداث العديد من الأفكار التصميمية لدى المبدعين، ودمجها ضمن طرق جديدة للابتكار لإعادة التفكير في التصميم الأصلي، وقد ساعد هذا المجال الباحثين والمصممين على تحويل المواد ضمن مراحل التصميم، وذلك من عملية إختيار ذات توجه تقني ضيق التركيز، إلى ممارسة حيوية وإستقصائية ملهمة لجميع دارسي وممارسي التصميم؛ فيقدم البحث العلاقات الجديدة والناشئة بين المصمم والمواد والمنتج النهائي، ويتم تقديم موجز عام لسلسلة الترابط بين الإطار النظري لإختيار المواد ومدى ملاءمة التجربة للمنتج الفعلي، وتم الإستعانة بأربعة محاور رئيسية تحدد وجهة النظر المعاصرة لتجارب إختيار المواد، وهم كالتالي:

- كان المحور الأول يعبر عن الدور المتغير للتصميم والبشر المصممين عبر التاريخ الإنساني، حيث تم تقديم ممارسات التصميم المدفوعة بالمواد، وذلك على مر التاريخ البشري الحافل بتصميم الأدوات والمعدات، وعمل المواد المخلطة والسيائك للحصول على خصائص جديدة، وتطورت الأدوات والمعدات من خلالها للقيام بمهام مختلفة.
- ويناقش المحور الثاني الدور المتغير للمواد نفسها، والتي أصبحت هي محور التفكير في التصميم النهائي على نحو متزايد، وكيفية تقديم الحلول المبتكرة لتلافي أي عيوب في التصميم قد ينتج من خلال المواد، لأن المواد لها حدود وقيود عامة لا يمكن تركها، مثل إمكانية عمليات اللحام وتناسب المواد مع بعضها في عمليات الإحتكاك والتحمل، وكذلك الهياكل الخارجية للمنتجات ومدى ملاءمة المادة المختارة لها.
- ويذكر المحور الثالث دور عمليات التصميم والتطوير في علوم وهندسة المواد، وذلك من خلال دور تجربة المواد في الإستجابة لأهداف الإستدامة، مما يوفر أساساً علمياً ليس فقط لإلهام الابتكارات المادية للمنتج، ولكن أيضاً لإستكشاف مواد جديدة تناسب مقترحات تصميمية مستقبلية، وكل تلك العمليات هي بمثابة عوامل نشطة ومؤثرة داخل عمليات التصميم وخارجها، مما يجعل تطوير تصميم المنتج أمراً يسيراً.
- وتم التأكيد في المحور الرابع على أن تطور علوم وهندسة المواد أمر بيدهي، ويكون التطور هذا مصحوباً بتطورات مقابلة في المنتجات، وأسهمت تلك العمليات في تحول المنتجات إلى المستوى التفاعلي، والذي فيه يكون تصميم واجهات التفاعل هامة جداً، ويتم تصميمها مع مراعاة أنماط وسلوكيات جمهور المستخدمين، حينها تكون حققت التقنيات المتطورة في علوم وهندسة المواد

- Materials and design: The art and science of material selection in product design.* Butterworth-Heinemann.
13. Ayuningtyas, K., & Janah, N. Z. (2018). Development and UI/UX usability analysis of Pinjemobil web-based application using User Satisfaction Model. 2018 *International Conference on Applied Engineering (ICAE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/incae.2018.8579391>
 14. BANDYOPADHYAY, K. I. R. S. T. E. N., & BUCK, R. E. B. E. C. C. A. (2015). From UI to UX: Building ethnographic praxis in a usability engineering culture. *Ethnographic Praxis in Industry Conference Proceedings, 2015(1)*, 156–143. <https://doi.org/10.1111/1559-8918.2015.01047>
 15. Beretta, D., Neophytou, N., Hodges, J. M., Kanatzidis, M. G., Narducci, D., Martin-Gonzalez, M., Beekman, M., Balke, B., Cerretti, G., Tremel, W., Zevalkink, A., Hofmann, A. I., Müller, C., Dörling, B., Campoy-Quiles, M., & Caironi, M. (2019). Thermoelectrics: From history, a window to the future. *Materials Science and Engineering: R: Reports, 138*, 100501. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2018.09.001>
 16. Bohanec, M. (2022). Dex (decision expert): A qualitative hierarchical multi-criteria method. *Multiple Criteria Decision Making, 39*–78. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7414-3_3
 17. Bucolo, M., Buscarino, A., Famoso, C., Fortuna, L., & Gagliano, S. (2020). Automation of the Leonardo da Vinci machines. *Machines, 8(3)*, 53.
 18. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2021). *Materials science and engineering an introduction*. John Wiley and Sons Australia, Ltd.
 19. Casu, C., & Rivella, S. (2014). Iron age: Novel targets for Iron Overload. *Hematology, 2014(1)*, 216–221. <https://doi.org/10.1182/asheducation-2014.1.216>
 20. Chapman, A. (2017). Middle/late bronze age to iron age settlement. *Bronze Age Monuments and Bronze Age, Iron Age, Roman and Anglo-Saxon Landscapes at Cambridge Road, Bedford*, 55–82. <https://doi.org/10.2307/j.ctv170x4rn.9>
 21. Chernyshev, A. (2020, May 25). *Aristarkh Chernyshev imagines the future of cell phones with a blood-feeding organism*. designboom. Retrieved September 20, 2022, from <https://www.designboom.com/art/aristarkh>
 2. <https://doi.org/10.1109/proc.1986.13432>
 2. Ahirwar, A. (2021). *2040 mobility - MOBII*. Behance. Retrieved November 20, 2022, from https://www.behance.net/gallery/113709857/2040-Mobility-MOBII?tracking_source=search_projects_recommended%7Cfuturistic%2Bproduct%2Bdesign
 3. Ahmed, El Samany Abdel Moteleb, 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.
 4. Alexandru Cătălin, Jaliu, C., & Comsit, M. (2020). *Product design*. IntechOpen.
 5. Alexopoulos, K., Koukas, S., Boli, N., & Mourtzis, D. (2018). Architecture and development of an industrial internet of things framework for realizing services in Industrial Product-Service Systems. *Procedia CIRP, 72*, 880–885. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.152>
 6. Alkan, B., Vera, D., Ahmad, B., & Harrison, R. (2018). A method to assess assembly complexity of industrial products in early design phase. *IEEE Access, 6*, 989–999. <https://doi.org/10.1109/access.2017.2777406>
 7. Alomari, H. W., Ramasamy, V., Kiper, J. D., & Potvin, G. (2020). A user interface (UI) and user experience (UX) evaluation framework for cyberlearning environments in computer science and software engineering education. *Heliyon, 6(5)*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03917>
 8. Amar, Z. (2002). The history of the paper industry in al-Sham in the Middle Ages. *Towns and Material Culture in the Medieval Middle East*, 119–133. https://doi.org/10.1163/9789004476158_011
 9. 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.
 10. Andreoni, W., & Yip, S. (2020). *Handbook of Materials Modeling*. Springer.
 11. Ashby, M. F. (2012). *Materials and the environment: Eco-informed material choice 2nd edition*. Elsevier Science.
 12. Ashby, M. F., & Johnson, K. (2014).

35. Gopalakrishna, S., & Chatterjee, R. (1992). A communications response model for a mature industrial product: Application and implications. *Journal of Marketing Research*, 29(2), 189–200. <https://doi.org/10.1177/002224379202900204>
36. Gopalakrishna, S., & Lilien, G. L. (1995). A three-stage model of Industrial Trade Show Performance. *Marketing Science*, 14(1), 22–42. <https://doi.org/10.1287/mksc.14.1.22>
37. Graedel, T. E., Harper, E. M., Nassar, N. T., Nuss, P., & Reck, B. K. (2015). Criticality of metals and metalloids. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(14), 4257–4262. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500415112>
38. Grassby, R. (2005). Material culture and cultural history. *The Journal of Interdisciplinary History*, 35(4), 591–603. <https://doi.org/10.1162/0022195043327426>
39. H., J. D. R., & Ashby, M. F. (2019). *Engineering materials 1: An introduction to properties, applications and Design*. Butterworth-Heinemann.
40. HAMILAKIS, Y. A. N. N. I. S. (1996). Wine, oil and the dialectics of power in Bronze Age Crete: A review of the evidence. *Oxford Journal of Archaeology*, 15(1), 1–32. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0092.1996.tb00071.x>
41. Harvey, K. editor. (2018). *History and material culture: A student's guide to approaching alternative sources*. Routledge.
42. Hicks, D., & Beaudry, M. C. (2010). Material Histories. In *The Oxford Handbook of Material Culture Studies* (pp. 150–172). essay, Oxford University Press.
43. Hillmann, C. (2021). The history and future of XR. *UX for XR*, 17–72. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7020-2_2
44. Hopkins, A. (2017). *An abridged history of ui - medium*. Medium. Retrieved September 22, 2022, from <https://blog.prototypr.io/an-abridged-history-of-ui-7a1d6ce4a324>
45. Ingold, T. (2012). Toward an ecology of materials. *Annual Review of Anthropology*, 41(1), 427–442. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-081309-145920>
46. Jans, R., & Degraeve, Z. (2008). Modeling industrial lot sizing problems: A Review. *International Journal of Production Research*, 46(6), 1619–1643.
- chernyshev-the-future-of-cell-phones-05-25-2020/
22. Collins, T. M., Gitelman, L., & Jankunis, G. (2002). *Thomas Edison and Modern America: A brief history with documents*. Bedford/St. Martin's.
23. Czichos, H., Saito, T., & Smith, L. (2007). *Springer Handbook of Materials Measurement Methods*. Springer.
24. 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.
25. 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.
26. Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2021b). Robot Ergonomics: Giving the Behavioral Objects a dynamic presence. *International Design Journal*, 11(5). Article 23. 293-304. DOI: 10.21608/idj.2021.191705.
27. Deliyannis, D., Dey, H., & Squatriti, P. (2019). Fifty early medieval things. <https://doi.org/10.7591/9781501730283>
28. Dyer, F. L., & Martin, T. C. (2018). *Edison: His life and inventions*. SNova.
29. Eui-Chul, J., & Kyungbo, M. (2015). Ux scenario development based on chatting UI for IOT home appliances. *Proceedings of the International Seminar on Computation, Communication and Control*. <https://doi.org/10.2991/is3c-15.2015.9>
30. Foxhall, L. (1995). Bronze to iron: Agricultural systems and political structures in Late Bronze Age and early iron age Greece. *The Annual of the British School at Athens*, 90, 239–250. <https://doi.org/10.1017/s006824540001618x>
31. Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., & Sulaiman, M. Y. (2010). Review of solar dryers for agricultural and Marine Products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.032>
32. Gevorkian, P. (2007). *Solar power in building design the engineer's Complete Resource*. MCGRAW-HILL COMPANIES (OH).
33. Ginn, V. R. (2016). Bronze age review. *Mapping Society: Settlement Structure in Later Bronze Age Ireland*, 6–20. <https://doi.org/10.2307/j.ctvw3nrs.6>
34. Goodno, B. J., Gere, J. M., & Gere, J. M. (2021). *Mechanics of Materials*. Cengage.

57. Ljungberg, L. Y., & Edwards, K. L. (2003). Design, materials selection and marketing of successful products. *Materials & Design*, 24(7), 519–529. [https://doi.org/10.1016/s0261-3069\(03\)00094-3](https://doi.org/10.1016/s0261-3069(03)00094-3)
58. Lubar, S. D. (2000). *History from things: Essays on material culture*. Smithsonian Institution Press.
59. McCabe, J. F., Yan, Z., Al Naimi, O. T., Mahmoud, G., & Rolland, S. L. (2011). Smart Materials in Dentistry. *Australian Dental Journal*, 56, 3–10. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01291.x>
60. McDowell, D. L., Panchal, J. H., & Choi, H.-J. (2010). *Integrated design of multiscale, multifunctional materials and products*. Butterworth-Heinemann.
61. McPherson, S. S. (2013). *War of the currents: Thomas Edison vs. Nikola Tesla*. Twenty-First Century Books.
62. Mistry, N. (2020, September 21). *Medical innovations that will revolutionize the future of your healthcare! - yanko design*. Yanko Design - Modern Industrial Design News. Retrieved September 20, 2022, from <https://www.yankodesign.com/2020/06/29/medical-innovations-that-will-revolutionize-the-future-of-your-healthcare/>
63. Mittemeijer, E. J. (2021). *Fundamentals of Materials Science: The microstructure-property relationship using metals as model systems*. Springer International Publishing.
64. Mondal, A. K., & Bansal, K. (2015). A brief history and future aspects in automatic cleaning systems for solar photovoltaic panels. *Advanced Robotics*, 29(8), 515–524. <https://doi.org/10.1080/01691864.2014.996602>
65. Moulson, A. J., & Herbert, J. M. (2008). *Electroceramics: Materials, properties, applications*. Wiley.
66. 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.
67. Nathanson, A. (2021). *A history of solar power art and design*. Routledge, Taylor & Francis Group.
68. Newnham, R. E. (2004). Tensors and physical properties. *Properties of Materials*. <https://doi.org/10.1093/oso/978019852075>
- <https://doi.org/10.1080/00207540600902262>
47. Jeevanandam, J., Ling, J. K., Barhoum, A., Chan, Y. S., & Danquah, M. K. (2022). Bionanomaterials: Definitions, sources, types, properties, toxicity, and regulations. *Fundamentals of Bionanomaterials*, 1–29. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824147-9.00001-7>
48. Jeevanandam, J., Vadasundari, V., Pan, S., Barhoum, A., & Danquah, M. K. (2022). Bionanotechnology and Bionanomaterials. *Bionanotechnology : Emerging Applications of Bionanomaterials*, 3–44. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823915-5.00009-5>
49. Jenkins, R. V., & Nier, K. A. (1984). A record for invention: Thomas Edison and his papers. *IEEE Transactions on Education*, 27(4), 191–196. <https://doi.org/10.1109/te.1984.4321702>
50. Joo, H. S. (2017). A study on the development of experts according to UI / UX understanding. *KOREA SCIENCE & ART FORUM*, 31, 401–411. <https://doi.org/10.17548/ksaf.2017.12.30.401>
51. Kelly, J. R., & Benetti, P. (2011). Ceramic Materials in Dentistry: Historical Evolution and current practice. *Australian Dental Journal*, 56, 84–96. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01299.x>
52. KLYOSOV, A. A. (2008). Improving wood–polymer composite products: A case study. *Wood–Polymer Composites*, 331–353. <https://doi.org/10.1533/9781845694579.331>
53. Koestler-Grack, R. A. (2005). *Leonardo Da Vinci: artist, inventor, and Renaissance man*. Infobase Publishing.
54. Kuligowski, S. (2012). *Leonardo da Vinci: Renaissance Artist and Inventor*. Teacher Created Materials.
55. Lee, H.-J., Lee, J.-S., Jee, E., & Bae, D.-H. (2017). A user experience evaluation framework for mobile usability. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 27(02), 235–279. <https://doi.org/10.1142/s0218194017500097>
56. Ljungberg, L. Y. (2007). Materials selection and design for development of Sustainable Products. *Materials & Design*, 28(2), 466–479. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.09.006>

- for Design. *Proceedings of the 2011 Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces - DPPI '11*, 1–8. <https://doi.org/10.1145/2347504.2347540>
81. Roozenburg, M. N. F., & Eekels, J. (1995). *Product design: Fundamentals and methods*. John Wiley & Sons.
 82. Roy, S. A. (1998). The origin of the smaller, faster, cheaper approach in NASA's Solar System Exploration Program. *Space Policy*, 14(3), 153–171. [https://doi.org/10.1016/s0265-9646\(98\)00021-6](https://doi.org/10.1016/s0265-9646(98)00021-6)
 83. Saini, A., Kumar, R., & Kumar, R. (2021). Introduction and brief history of thermoelectric materials. *Thermoelectricity and Advanced Thermoelectric Materials*, 1–19. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819984-8.00012-6>
 84. Sanford, E. M. (1944). The study of ancient history in the Middle Ages. *Journal of the History of Ideas*, 5(1), 21–43. <https://doi.org/10.2307/2707100>
 85. Scholz, M. P. (2008). *Advanced Nxt: The Da Vinci Inventions Book*. Scholars Portal.
 86. Schweitzer, E., & Fuchs, C. (2007). Life cycle management of Industrial Product-Service Systems. *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*, 171–176. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-935-4_30
 87. Shahbazi, S. (2020). *Circular product design and development*. Technical University of Denmark.
 88. Singh, S., Uddin, M., & Prakash, C. (2022). Introduction, history, and origin of composite materials. *Fabrication and Machining of Advanced Materials and Composites*, 1–18. <https://doi.org/10.1201/9781003327370-1>
 89. Smith, W. F. (2002). *Principles of Materials Science and Engineering*. McGraw-Hill.
 90. Solé, A., Miró, L., Barreneche, C., Martorell, I., & Cabeza, L. F. (2013). Review of the T-history method to determine thermophysical properties of phase change materials (PCM). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 425–436. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.066>
 91. Soper, R. (1971). A general review of the Early Iron Age of the southern half of Africa. *Azania: Archaeological Research in Africa*, 6(1), 5–37. <https://doi.org/10.1080/00672707109511545>
 92. Sowards, A. (2012, April 3). *125+ unbelievable futuristic design concepts that* 7.003.0007
 69. O'Connor, A. (2007). Before the stone age existed. *Finding Time for the Old Stone Age*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199215478.003.0009>
 70. Ortner, H. M., Ettmayer, P., & Kolaska, H. (2014). The history of the technological progress of Hardmetals. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 44, 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2013.07.014>
 71. Paduraru, A. (2021). *UI/UX Design Guide: What are Ui Designers, and how are they different than UX designers?* freeCodeCamp.org. Retrieved September 29, 2022, from <https://www.freecodecamp.org/news/ui-ux-design-guide/>
 72. Pederson, C. E. (2008). *Thomas Edison*. ABDO Pub.
 73. Pezzotta, G., Pirola, F., Rondini, A., Pinto, R., & Ouertani, M.-Z. (2016). Towards a methodology to engineer industrial product-service system – evidence from power and automation industry. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 15, 19–32. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2016.04.006>
 74. Pollock, D. D. (2020). *Physical properties of materials for Engineers*. CRC Press.
 75. Popkova, E. G., Ragulina, Y. V., & Bogoviz, A. V. (2018). Fundamental differences of transition to industry 4.0 from previous industrial revolutions. *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*, 21–29. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94310-7_3
 76. Prasher, R. (2006). Thermal interface materials: Historical perspective, status, and future directions. *Proceedings of the IEEE*, 94(8), 1571–1586. <https://doi.org/10.1109/jproc.2006.879796>
 77. Raizman, D. S. (2020). *History of modern design: Graphics and products since the Industrial Revolution*. Laurence King Publishing.
 78. Richter, A., Sadek, T., & Steven, M. (2010). Flexibility in industrial product-service systems and use-oriented business models. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 3(2), 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2010.06.003>
 79. Ritter, M., & Winterbottom, C. (2017). *Ux for the web: Build websites for user experience and usability*. Packt Publishing.
 80. Rognoli, V., Salvia, G., & Levi, M. (2011). The aesthetic of interaction with materials

- Research on industrial product–service configuration driven by value demands based on ontology modeling. *Computers in Industry*, 65(2), 247–257. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.11.002>
102. Wang, Z. L. (2001). Characterization of nanophase materials. *Particle & Particle Systems Characterization*, 18(3), 142–156. [https://doi.org/10.1002/1521-4117\(200110\)18:3<142::aid-ppsc142>3.0.co;2-n](https://doi.org/10.1002/1521-4117(200110)18:3<142::aid-ppsc142>3.0.co;2-n)
103. White, M. A. (2016). Mechanical properties of materials. *Physical Properties of Materials*, 395–446. <https://doi.org/10.1201/9780429468261-18>
104. White, M. A. (2019). *Physical properties of materials*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
105. White, L. (1940). Technology and invention in the Middle Ages. *Speculum*, 15(2), 141–159. <https://doi.org/10.2307/2849046>
106. Wrigley, E. A. (1962). The supply of raw materials in the Industrial Revolution. *The Economic History Review*, 15(1), 1. <https://doi.org/10.2307/2593286>
107. YAMADA, S. H. I. G. E. H. I. K. O., & SATO, H. I. R. O. S. H. I. (1962). Some physical properties of glassy carbon. *Nature*, 193(4812), 261–262. <https://doi.org/10.1038/193261b0>
108. Yamamoto, M., & Lambert, D. R. (1994). The impact of product aesthetics on the evaluation of Industrial Products. *Journal of Product Innovation Management*, 11(4), 309–324. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1140309>
109. Yoon, E., & Lilien, G. L. (1985). New industrial product performance: The effects of market characteristics and strategy*. *Journal of Product Innovation Management*, 2(3), 134–144. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.230134>
- inspire creativity*. Daily Business Resources for Entrepreneurs, Web Designers, & Creatives by Andy Sowards. Retrieved September 20, 2022, from <https://www.andysowards.com/blog/2012/125-unbelievable-futuristic-design-concepts-that-inspire-creativity/>
93. Strafford, K. N., Newell, R., Audy, K., & Audy, J. (1996). Analysis of bell material from the Middle Ages to the recent time. *Endeavour*, 20(1), 22–27. [https://doi.org/10.1016/0160-9327\(96\)10003-x](https://doi.org/10.1016/0160-9327(96)10003-x)
94. Szmuk, P., Ezri, T., Evron, S., Roth, Y., & Katz, J. (2007). A brief history of tracheostomy and tracheal intubation, from the bronze age to the space age. *Intensive Care Medicine*, 34(2), 222–228. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0931-5>
95. Tagliaferro, L. (2003). *Thomas Edison: Inventor of the age of electricity*. Lerner Publications Co.
96. Tew, B., & Hurstfield, J. (1953). History of the Second World War. the control of raw materials. *The Economic History Review*, 6(2), 216. <https://doi.org/10.2307/2590962>
97. Trinder, D., Macey, D. J., & Olynyk, J. K. (2000). The New Iron Age. *International Journal of Molecular Medicine*, 6(6), 607–619. <https://doi.org/10.3892/ijmm.6.6.607>
98. Unger, R. (2008). Cartography in antiquity and the Middle Ages. <https://doi.org/10.1163/ej.9789004166639.i-300>
99. Wachhorst, W., & Millard, A. (1991). Edison and the business of innovation. *The Journal of American History*, 78(1), 354. <https://doi.org/10.2307/2078193>
100. Walsh, G. G. (1940). The Middle Ages. *Thought*, 15(1), 157–159. <https://doi.org/10.5840/thought1940151231>
101. Wang, P. P., Ming, X. G., Wu, Z. Y., Zheng, M. K., & Xu, Z. T. (2014).