

الإستفادة من مجموعات البناء الروبوتية في النمذجة التفاعلية

Benefit from robotic construction kits in interactive modeling

أ.د/فكرى جمال إبراهيم

أستاذ متفرغ بقسم التصميم الصناعي – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان

م.د/أحمد مصطفى رموزي

مدرس بقسم التصميم الصناعي – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان

م.م/مصطفى محمود شحاته

مدرس مساعد بقسم التصميم الصناعي – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان

ملخص البحث

يناقش البحث إمكانية الإستفادة من مجموعات البناء الروبوتية في النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم الصناعي, ولقد تم تقسيم البحث إلى أربعة أقسام على النحو التالي :

أولاً : مدخل البحث ويشمل المقدمة وموضوع البحث حيث إستعراض فكرة البحث والمشكلة و الهدف و الأهمية, كما تستعرض الفرض الخاص بالبحث.

ثانياً : دراسة مجموعات البناء الروبوتية, وفي هذا الجزء يلقي البحث الضوء على مفهوم مجموعات البناء بشكل عام ومجموعات البناء الروبوتية بشكل خاص ونشأة مجموعات البناء كما يتم مناقشة وتحليل أحد تلك المجموعات وذلك للتعرف على المكونات العامة لمجموعات البناء الروبوتية وإيجاد تصنيف مناسب لها.

ثالثاً : دراسة النمذجة التفاعلية حيث يناقش البحث بداية ظهور الفكرة ومفهوم النمذجة التفاعلية ثم يستعرض بعض التجارب لإستخدام النمذجة التفاعلية في مجال التصميم الصناعي .

رابعاً : يستعرض البحث العلاقة بين مجموعات البناء الروبوتية والنمذجة التفاعلية في ضوء التصميم الصناعي, وفيها يناقش البحث إمكانية الإستفادة من مجموعات البناء بشكل عام ومجموعات البناء الروبوتية بشكل خاص في تعليم وممارسة النمذجة التفاعلية في مجال التصميم الصناعي, وكيفية تحقيق ذلك. وفي النهاية يستعرض البحث النتائج و التوصيات التي تم التوصل إليها.

الكلمات المرشدة

النمذجة التفاعلية – مجموعات البناء – مجموعات البناء الروبوتية – تعليم النمذجة التفاعلية

Summary of Research

The Research Discusses the Ability to using Robot Construction Kits at Interactive Prototyping for Industrial Design Ideas; the Research has been divided into Four Sections, as Follows:

The First Section was The Research Intro, Which Contains introduction, the research Subject, The Research Purpose, the research Problem, the goal ,the importance and the hypothesis of Research.

The second Section discusses the main Concept of construction Kits and Robot Construction kits, the begging of construction Kits, also this Section presents a studying Example for Robotic Kits to Identify and Classify the general components of robotic kits.

The third section discusses the begging of Interactive Prototyping, The main Concept of Interactive Prototyping and some Examples of using Interactive Prototyping at the field of industrial Design.

The Fourth Section discusses the relation between robot Construction Kits and the Interactive Prototyping at the field of industrial Design, also this Section Discusses The ability to Using robot Construction Kits in interactive Prototyping for Industrial Design Ideas (Learning and Practice) ,and how To achieve that.

At the end, The Research presents the reached Resulted.

Key Words

Interactive Prototyping – Construction Kits – Robot Construction Kits – Learning Interactive Prototyping

أولاً: مدخل البحث

مقدمة

تعتمد عملية التصميم في جوهرها على خطوتين أساسيتين تتكرران بشكل دوري ومستمر وهما التحليل وإعادة التركيب لنفس العناصر المكونة للتصميم ,فمن خلال التحليل وإعادة التركيب للعناصر يمكن للمصمم صياغة عدد لا نهائي من الأفكار التصميمية .

ويعد التحليل وإعادة التركيب أحد خصائص مجموعات البناء بشكل عام ومجموعات البناء الروبوتية بشكل خاص , فتلك المجموعات تعطي الإمكانية لبناء وبرمجة وتشغيل العديد من النماذج باستخدام نفس المكونات الأساسية ,فممارسة التركيب والفك وإعادة التركيب باستخدام تلك المجموعات يشبه كثيراً ممارسة التصميم. ونظراً لطبيعة عمل المصمم الصناعي والتي تفرض عليه مواكبة التغيرات التكنولوجية المستمرة فمن الواجب عليه تطوير معارفه و مهاراته المهنية بشكل مستمر.

وتعد النمذجة التفاعلية أحد تلك الموضوعات التي يجب على المصمم الصناعي الإلمام بها , فهناك بعض القصور في المعرفة التقنية التي تمكن المصمم الصناعي من تحقيق النماذج التفاعلية .

ومن ذلك يأتي الإهتمام بإلقاء الضوء على مجموعات البناء الروبوتية والنمذجة التفاعلية لأفكار التصميم الصناعي ودراسة العلاقة بينهما , وإمكانية إستخدام مجموعات البناء الروبوتية كمنصة (إلكترونية –برمجية) لتعليم وممارسة النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم الصناعي.

1- موضوع البحث

إن التغيرات التكنولوجية المستمرة هي المحفز الرئيسي الذي فرض على وظيفة المصمم الصناعي أن تمتد لتشمل المشاركة في صياغة النواحي التكنولوجية للمنتج.

ومنذ تسعينيات القرن العشرين فإن ملامح المنتجات قد تغيرت بوجه عام حيث أن مخرجات التصميم الصناعي من منتجات ونظم وخدمات أصبحت أكثر تفاعلية من أى وقت مضى , وهو ما يعني ضرورة تغيير الصورة التي تخرج عليها نماذج التصميم لتصبح أكثر تفاعلية مع المستخدم وأكثر تعبيراً عن وظائف المنتج ,والسؤال الآن هو كيف يمكن للمصمم الصناعي تحقيق الجوانب التفاعلية في النماذج المعبرة عن أفكار التصميم؟ وبعبارة أخرى كيف يمكن للمصمم الصناعي جعل نماذج الأفكار الخاصة به أكثر تفاعلية مع المستخدم؟

إن إجابة السؤال السابق تحتل إتجاهين ,الأول يتمثل في بناء نموذج إفتراضي لفكرة التصميم باستخدام برامج الحاسوب ,والمشكلة هنا هي أن النماذج الحاسوبية لها حدود في النواحي التفاعلية مع المستخدم .

أما الإتجاه الثاني فيتمثل في الإستعانة بأساليب النمذجة التفاعلية في بناء نموذج حقيقي كامل الوظائف يمثل فكرة التصميم, فيكون أقرب للمستخدم وأكثر تعبيراً عن وظائف المنتج.

وعلى الرغم من صعوبة تحقيق ذلك نظراً للتكلفة والوقت والجهد, ونظراً لعدم إلمام كثير من المصممين الصناعيين بأساليب النمذجة التفاعلية من تجهيزات مادية, وأساليب برمجة وخلافه, إلا أن النماذج التفاعلية لها العديد من الجوانب الإيجابية فهي الأقرب للمستخدم وهي الأكثر تعبيراً عن وظائف المنتج, كما أنها تتيح للمصممين الصناعيين أرضية مشتركة مع المتخصصين, فهي إلى حد كبير تمثل الأنظمة التي سوف يكون عليها المنتج في صورته النهائية بعد تطويره على يد المتخصصين .

ومما تقدم يتضح ضرورة إلمام المصمم الصناعي ببعض الموضوعات التكنولوجية المرتبطة بالنواحي التفاعلية في المنتجات, فطبيعة المنتج والتكنولوجيا الخاصة به هما ما يفرض على المصمم نمطاً معيناً للمعارف و المهارات التي يجب إكتسابها .

وتعد النمذجة التفاعلية أحد تلك الموضوعات التي يجب على المصمم إدراكها بغرض مواكبة المستحدثات التكنولوجية للعصر, فدور المصمم لم يعد مقتصرأ على وضع تصور المنتج وحسب, بل إمتدت ليشمل الإسهام في بناء تكنولوجيا المنتج, وذلك بهدف توفير المزيد من الرفاهية و الأمان والإقتصاد للمستخدم .

وكغيرها من الأدوات, فإن مجموعات البناء تتأثر بتكنولوجيا العصر وتتطور معها, ومنذ ثمانينات القرن العشرين ومع ظهور مجموعات البناء القابلة للبرمجة, ثم من بعدها ظهور مجموعات البناء الروبوتية في تسعينات القرن العشرين, فإن مجموعات البناء قد إتخذت نمطاً أكثر تطوراً من حيث الشكل والوظيفة, فإمكانيات التغيير والتعديل على النماذج الناتجة من خلالها شملت الشكل والوظيفة, وهو ما يتيح تجريب العديد من البدائل المختلفة .

وهذا ما لفت الإنتباه نحو الإستفادة من مجموعات البناء بوجه عام ومجموعات البناء الروبوتية بوجه خاص في بناء النماذج التفاعلية لأفكار التصميم, وذلك لما توفره تلك المجموعات من إمكانيات في التشكيل والبرمجة للنموذج النهائي.

2- مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في عدم تحقيق النماذج التفاعلية لأفكار التصميم, وذلك نتيجة القصور في عدم إلمام المصمم الصناعي بأساليب النمذجة التفاعلية حيث أنها تعتمد على دراسة العديد من مجالات المعرفة الأخرى مثل الهندسة الميكانيكية و هندسة الإلكترونيات وبرمجة الحاسوب .

3- هدف البحث

يهدف البحث للتعرف على كلا من مجموعات البناء الروبوتية ومكوناتها العامة وما يمكن أن توفره من إمكانيات في البناء والبرمجة, وكذلك النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم الصناعي والغرض منها, و الإستفادة من مجموعات البناء الروبوتية في النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم وذلك في التعليم والممارسة.

4- أهمية البحث

تعود أهمية البحث إلى ضرورة توفير المعرفة للمصمم الصناعي بالمستحدثات التكنولوجية المرتبطة بمجال التخصص, فهناك بعض القصور في المعرفة التقنية التي تمكنه من تحقيق النماذج التفاعلية, ومن الجيد توفير وسيلة سهلة ومبسطة لإستخدامها في تعليم وممارسة النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم, وتوفر مجموعات البناء الروبوتية منصة واسعة لإستخدامها في نمذجة الأفكار لإستخدامها في تصميم و إختبار وعرض الأفكار بشكل سريع وسهل.

5- فرض البحث

الإلمام بالمجموعات الروبوتية وكيفية إستخدامها تؤدي إلى إنجاز النماذج التفاعلية للأفكار التصميم ومن ثم تحقيق المتطلبات الاستخدامية.

ثانياً : مجموعات البناء Construction Kits

ظهرت مجموعات البناء لأول مرة في القرن السابع عشر الميلادي على يد الإنجليزي جون لوكي John Locke ,والذي إبتكر مجموعته الشهيرة كتل لوكي Locke's block وهى عبارة عن مكعبات خشبية تحوي أرقاماً وصوراً وحروفاً على جوانبها الستة. (1)

وفي بداية القرن العشرين إبتكر فرانك هورنبي Frank Hornby مجموعته الشهيرة ميكانو Meccano ,والتي تعد أحد أهم نقاط التحول في تاريخ مجموعات البناء , وكانت تلك المجموعة وما تلاها تهدف وبشكل مباشر لتبسيط مبادئ الميكانيكا والبناء لصغار السن ,وتقديمها في صورة شيقة وجذابة لهم , وهى بذلك تمثل مستوى المعارف الهندسية لذلك العصر في صورة مجموعة تعليمية. (2)

ولقد تطورت تلك التقنيات بشكل كبير في التسعينات من القرن العشرين , حتى ظهر جيل جديد من تلك المجموعات يعرف "بمجموعات البناء الروبوتية Robotic Construction Kits". ومجموعات البناء هي عبارة عن مجموعة من الأجزاء القياسية التي تسمح ببناء تكوينات متنوعة من النماذج المختلفة لتوفير الوقت اللازم لبناء أجزاء خاصة كما يلي:

1- مجموعات البناء الروبوتية Robotic Construction Kits

هي عبارة عن مجموعات بناء تتكون من أجزاء مادية وبرمجيات ,حيث تُمكن من إبتكار وبرمجة روبوتات لها مواصفات خاصة ,وهى تشمل كمبيوتر ذكي قابل للبرمجة يتحكم في النظام بالكامل ,كما تشمل مجموعة من الوحدات المديولية Modular units (أجزاء يمكن أن تتكامل معاً بأكثر من طريقة لتحقق أكثر من شكل) وهى عبارة عن مستشعرات ومحركات وأجزاء أخرى ,والتي تكون النظام الحركي للمجموعة. (3)

وفيما يلي عرضاً لأحد مجموعات البناء الروبوتية وهى مجموعات LEGO Mindstorms ,وذلك لمعرفة الصورة العامة للمجموعات الروبوتية ومن ثم رصد كيفية الإستفادة منها في النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم.

2- مجموعات LEGO Mindstorms

تستخدم مجموعات LEGO Mindstorms متحكم رئيسي قوي ,يستطيع الإتصال بمجموعة متنوعة من المستشعرات والمشغلات ,ويعتمد بناء الجسم المادي للروبوتات المختلفة على أجزاء بلاستيكية من مجموعات LEGO TECHNIC. (4)

وتعتبر تلك المجموعات إمتداد لمجموعات LEGO TECHNIC ,ولقد تم تطوير تلك المجموعات خلال التسعينات من القرن العشرين وأوائل القرن الحادي والعشرين ,ففي عام 1998م قامت شركة LEGO بطرح أولى مجموعاتها الروبوتية والمعروفة بمجموعة LEGO MINDSTORMS RCX والتي إحتوت على وحدة ذكية قابلة

(1) <http://learningmaterialswork.com/about/toy-history/>

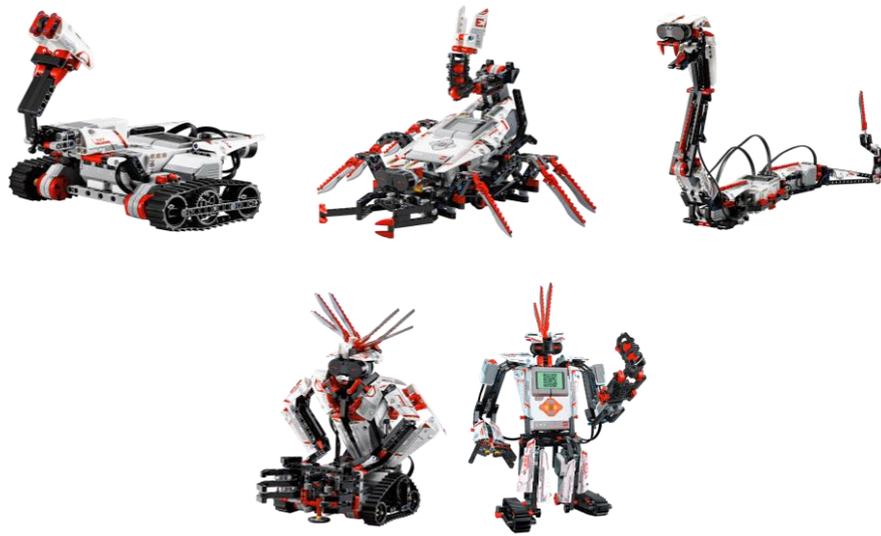
(2) <http://www.frankhornby.com/>

(3) Bagnall, Brian -Maximum LEGO NXT: Building Robots with Java Brains Variant Press - 2007.

(4) <http://www.robotshop.com/blog/en/robot-construction-kits-13107/>

للبرمجة عن طريق الحاسوب وهي أهم العناصر المميزة لمجموعات LEGO MINDSTORMS عن مجموعات LEGO TECHNIC , وفي عام 2006 م أصدرت الشركة ثانياً مجموعاتها الروبوتية وهي مجموعة LEGO MINDSTORMS NXT و الذي تم تطويرها لاحقاً في عام 2009 م لتصدر الشركة الإصدار الأحدث منها وهي مجموعات LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 , وفي عام 2013 م أطلقت الشركة مجموعات LEGO MINDSTORMS EV3⁽⁵⁾.

ولقد تم تطوير مجموعة LEGO MINDSTORMS EV3 لتستهدف فئتين من المستخدمين , وهما فئة الهواة (الإصدار المنزلي) , وفئة المعلمين وطلاب المدارس (الإصدار التعليمي) , ولقد تم تصميم مجموعة مختلفة من الروبوتات لتناسب كل مجموعة بشكل مستقل , فالإصدار المنزلي يضم مجموعة العناصر اللازمة لبناء وبرمجة خمس روبوتات أساسية وهي EV3RSTORM , GRIPP3R , TRACK3R , R3PTAR , SPIK3R إضافة إلى 12 روبوت آخر يمكن الحصول على إرشادات البناء والبرمجة الخاصة بهم من خلال الموقع الرسمي للمجموعة , والشكل (1) يوضح تلك المجموعة من الروبوتات.⁽⁶⁾



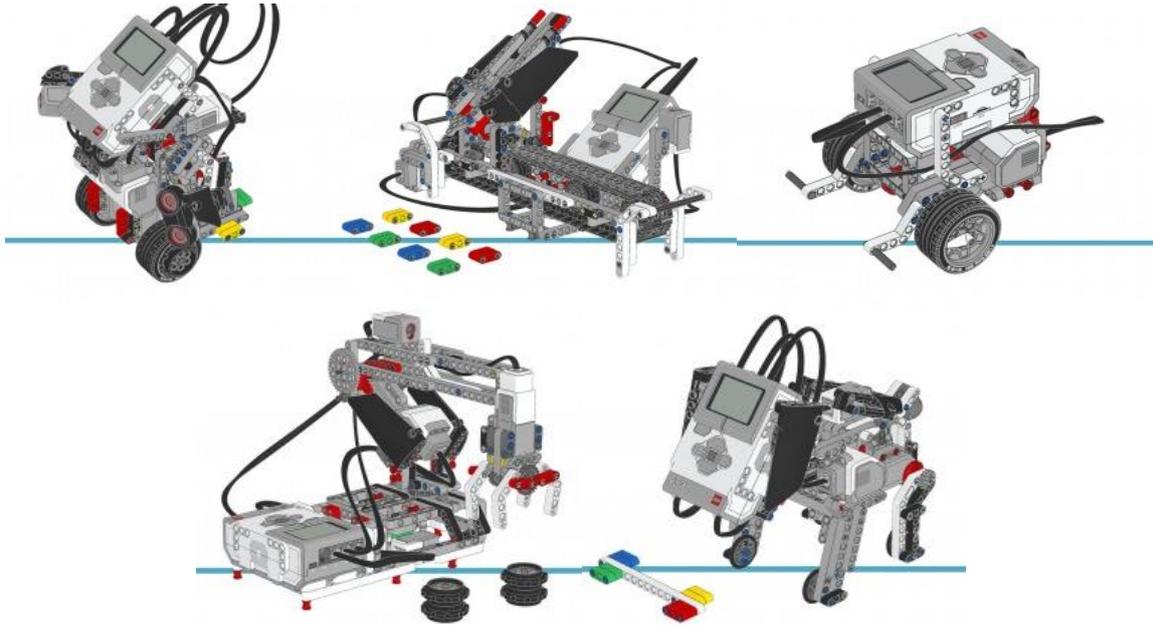
شكل (1) الروبوتات الخمس الأساسية للإصدار المنزلي LEGO MINDSTORMS EV3⁽⁷⁾

أما الإصدار التعليمي للمجموعة فإنه يضم مجموعة العناصر وتعليمات البناء و البرمجة لمجموعة الروبوتات التالية Robot Arm H25 , Puppy , Color Sorter , Gyro Boy , EV3CoreBase , كما يمكن تنفيذ العديد من النماذج الأخرى من خلال نفس الإصدار , والشكل (2) يوضح مجموعة النماذج الخاصة بالإصدار التعليمي للمجموعة.

⁽⁵⁾ <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/history/>

⁽⁶⁾ <http://robotsquare.com/2013/11/25/difference-between-ev3-home-edition-and-education-ev3/>

⁽⁷⁾ <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/build-a-robot/>



شكل (2) الروبوتات الأساسية للإصدار التعليمي LEGO MINDSTORMS EV3⁽⁸⁾

ومن الممكن ترقية المكونات من الإصدار التعليمي إلى الإصدار المنزلي , كما يمكن أيضاً ترقية المكونات الخاصة بالإصدار التعليمي إلى الإصدار المنزلي , أيضاً كما يمكن الحصول على الإصدار الموسع من المجموعة وهو يضم مجموعة العناصر البنائية في كلا الإصدارين .

أما عن مجموعة العناصر الإلكترونية والإلكتروميكانيكية الخاصة بالمجموعة فإن الجدول (1) يوضح تلك العناصر وخصائصها و مدى توافرها في الإصدارين , كما توجد بعض العناصر الأخرى الخاصة بالمجموعة لكنها غير متضمنة معها و يمكن الحصول عليها بشكل مستقل.

أما عن برمجة مجموعات LEGO MINDSTORMS EV3 فيمكن ذلك من خلال بيئة البرمجة الرسومية الخاصة بالمجموعة والمعروفة ببيئة EV3-G , كما يمكن برمجة المجموعة من خلال بعض لغات البرمجة المعتمدة على كتابة الأكواد مثل : لغة leJOS EV3 والتي تعتمد على لغة JAVA أو حتي لغات البرمجة الأخرى المطورة من قبل الهواة والتي تشبه لغة C في كتابة الأكواد , ومن أمثلة اللغات الكتابية الأخرى التي يمكن إستخدامها لغة NXC , ولغة Robot-C , ولغة ev3 dev .

كما يستطيع المستخدم برمجة الروبوت بإستخدام برنامج خاص يقوم بتحميله بشكل مجاني من خلال الموقع الرسمي للمجموعة كما يمكن أيضا التحكم بالروبوت من خلال الهواتف الذكية أو من خلال جهاز التحكم بإستخدام جهاز التحكم عن بعد الملحق بالمجموعة .⁽⁹⁾

⁽⁸⁾ <http://robotsquare.com/2013/11/25/difference-between-ev3-home-edition-and-education-ev3/>

⁹ <https://is.muni.cz/el/1433/jaro2015/IA158/um/lego.pdf>

جدول (1) العناصر الإلكترونية والإلكتروميكانيكية لمجموعات LEGO MINDSTORMS EV3 (10)، (11)

توافره بالمجموعات	وصف العنصر	أسم العنصر و شكله
<ul style="list-style-type: none"> متوافر بالإصدار المنزلي متوافر بالإصدار التعليمي 	<p>وتحتوي الوحدة على ما يلي :</p> <ul style="list-style-type: none"> متحكم دقيق من نوع ARM 9 32- Bit . ذاكرة 16 Flash Memory ميجاهرتز. ذاكرة عشوائية RAM 64 ميجابايت . مدخل لبطاقة ذاكرة صغيرة 32 جيجابايت . مدخل USB . مدخل mini USB . 4 مداخل للمستشعرات . 4 مخارج للمحركات . مكبر صوتي . كما يحتاج لتشغيله إلى 6 بطاريات مقاس AA 	<p>وحدة التحكم و الطاقة القابلة للبرمجة EV3 BRICK</p> 
<ul style="list-style-type: none"> متوافرة بالإصدار المنزلي متوافرة بالإصدار التعليمي 	<p>تحتوي كل مجموعة على محركان كبيران , مزودان بصندوق تروس داخلي لضبط الحركة , وتستخدم تلك المحركات للحصول على حركة دقيقة بزواوية محددة , وتحتوي على مستشعر داخلي لقراءة زاوية الدوران لعمود المحرك الحاجة .</p>	<p>محركات كبيرة Large Motors</p> 

تابع جدول (1) العناصر الإلكترونية والإلكتروميكانيكية لمجموعات LEGO MINDSTORMS EV3

توافره بالمجموعات	وصف العنصر	أسم العنصر و شكله
<ul style="list-style-type: none"> متوافر بالإصدار المنزلي متوافر بالإصدار التعليمي 	<p>تحتوي كل مجموعة على محرك واحد متوسط , وهو يستخدم للحركة المستمرة السريعة .</p>	<p>محرك متوسط Medium Motor</p> 
<ul style="list-style-type: none"> متوافر بالإصدار المنزلي غير متوافر بالإصدار التعليمي ويمكن شراءه بشكل مستقل 	<ul style="list-style-type: none"> يصدر إشارة رقمية . يستخدم في قياس المسافات بينه وبين الأشياء من صفر وحتى 70 سم , وتعتمد دقته على حجم وشكل وتكوين الأشياء . يمكن أن يعمل كمرجع لقياس المسافة 	<p>مستشعر الأشعة تحت الحمراء Infrared Sensor</p>

(10) LEGO MINDSTORMS EV3 – Education Edition – User Guide – 2013.

(11) LEGO MINDSTORMS EV3 – Home Edition – User Guide – 2013.

	والزاوية بينه وبين جهاز التحكم الملحق بالمجموعة .	
<ul style="list-style-type: none"> متوافر بالإصدار المنزلي متوافر بالإصدار التعليمي 	<ul style="list-style-type: none"> يصدر إشارة رقمية يستطيع التعرف على 7 ألوان مختلفة يستطيع التعرف على كثافة اللون يستطيع التعرف على كمية الإضاءة المنعكسة عن اللون 	<p>مستشعر لوني Color Sensor</p> 
<ul style="list-style-type: none"> متوافر بالإصدار المنزلي يوجد 2 مستشعر لمسي في الإصدار التعليمي 	يمكنه إصدار إشارة تناظرية أو رقمية على حد سواء	<p>مستشعر لمسي Touch Sensor</p> 
<ul style="list-style-type: none"> غير متوافر بالإصدار المنزلي ويمكن شراءه بشكل مستقل متوافر بالإصدار التعليمي 	يستخدم للتعرف على المسافة بين الروبوت و الأشياء المقابلة له	<p>مستشعر موجات فوق صوتية Ultrasonic Sensor</p> 

تابع جدول (1) العناصر الإلكترونية والميكانيكية لمجموعات LEGO MINDSTORMS EV3

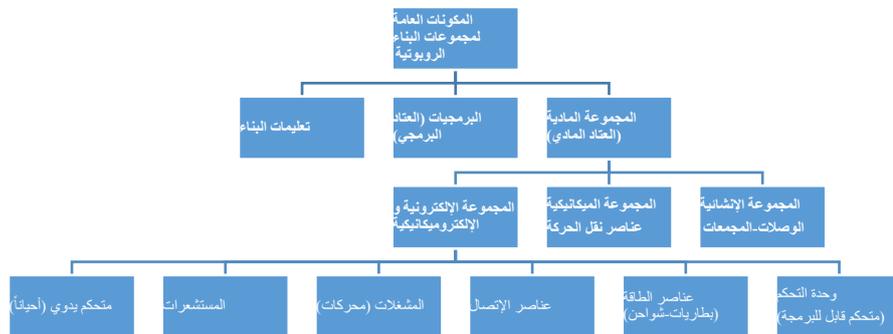
توافره بالمجموعات	وصف العنصر	أسم العنصر و شكله
<ul style="list-style-type: none"> غير متوافر بالإصدار المنزلي ويمكن شراءه بشكل مستقل متوافر بالإصدار التعليمي 	يستخدم لإتزان الروبوت ذاتياً	<p>مستشعر وضع Gyro Sensor</p> 
<ul style="list-style-type: none"> متوافر بالإصدار المنزلي غير متوافر بالإصدار التعليمي ويمكن شراءه بشكل مستقل 	جهاز تحكم عن بعد بالأشعة تحت الحمراء و يحتاج إلى بطاريات مقاس AAA . تعمل الحساسات الرقمية المدمجة بالمجموعة عند تردد 1 كيلوهرتز	<p>جهاز تحكم عن بعد Infrared Beacon</p> 
<ul style="list-style-type: none"> متوافر بالإصدار المنزلي متوافر بالإصدار التعليمي 	تحتوي كل مجموعة على 7 وصلات سلكية وتستخدم تلك الوصلات لنقل الإشارات الكهربائية بين وحدة التحكم والطاقة و مجموعة المستشعرات و المحركات للروبوت .	<p>وصلات سلكية</p> 
<ul style="list-style-type: none"> متوافر بالإصدار المنزلي متوافر بالإصدار التعليمي 	وتستخدم تلك الوصلة في توصيل الحاسوب بوحدة التحكم والطاقة لرفع البرنامج على المتحكم.	<p>وصلة USB</p> 

<ul style="list-style-type: none"> • غير متوافر بالإصدار المنزلي ويمكن شراؤه بشكل مستقل • متوافر بالإصدار التعليمي 	تدمج مع وحدة الطاقة و التحكم لإمدادها بالطاقة بدلاً من البطاريات الستة مقاس AAA	بطارية LEGO القابلة لإعادة الشحن 
<ul style="list-style-type: none"> • غير متوافر بالإصدارين ويمكن شراؤه بشكل مستقل. 	يمكنه إعادة شحن البطارية ويعمل عند فرق جهد 10 فولت	شاحن لبطارية LEGO 

3- الصورة العامة لمجموعات البناء الروبوتية Construction Kits

من خلال العرض السابق يتضح أن مجموعات البناء الروبوتية تمثل تجهيزة أو مجموعة من العناصر الإنشائية والميكانيكية والإلكترووميكانيكية والبرمجيات , إضافة إلى تعليمات البناء والبرمجة الخاصة بروبوت أو أكثر باستخدام تلك المجموعة , وبشكل عام فإن المكونات المادية الرئيسية لمجموعات البناء الروبوتية هي كما يلي :

- المجموعة الإنشائية (المجموعة الساكنة) :وتشمل مجموعة العناصر الإنشائية المستخدمة في بناء الهياكل الروبوتية المختلفة لتلك المجموعة , وهي تشمل الوصلات والمجمعات.
 - المجموعة الميكانيكية (المجموعة الديناميكية) :وتشمل مجموعة العناصر الميكانيكية المستخدمة في بناء الأنظمة الحركية المختلفة للروبوت , وهي تشمل عناصر مثل التروس والسيور والبكرات والجنائزير والروافع و غيرها من العناصر .
 - المجموعة الإلكترونية والإلكتروميكانيكية :وتشمل المتحكم ,وعناصر الإتصال ,والمستشعرات ,والمشغلات ,ومجموعة الطاقة (البطاريات و الشواحن) ,وفي بعض الحالات متحكم يدوي.
- والشكل (3) يوضح المكونات الرئيسية لمجموعات البناء الروبوتية.



شكل (3) المكونات الرئيسية لمجموعات البناء الروبوتية.¹²

¹² هذا التعميم من إعداد الباحث.

4- تصنيف مجموعات البناء الروبوتية تبعاً لعناصر المجموعة Classification Of Robotic Construction Kits According to Kit Elements

من الممكن تصنيف مجموعات البناء الروبوتية تبعاً للعديد من العوامل مثل الفئة المستهدفة، أو الهدف من المجموعة، أو الروبوتات الناتجة، أو حتى طبيعة البرمجيات الخاصة بالمجموعة، و نظراً لطبيعة البحث فإن مجموعات البناء الروبوتية سوف يتم تصنيفها تبعاً لقياسية الأجزاء الخاصة بها، وبذلك فإن المجموعات الروبوتية سوف تنقسم إلى :

1- المجموعات الروبوتية القياسية الخاصة، حيث تتوافق الأجزاء الخاصة بالمجموعة مع بعضها البعض بشكل عام، لكن من غير المؤكد توافرها مع مجموعات أخرى سواء لنفس الشركة أو لشركة أخرى ومن أمثلتها مجموعات LEGO أو مجموعات VEX .

2- المجموعات الروبوتية العامة (إصنعها بنفسك DIY)، حيث تتكون تلك المجموعات من عناصر قياسية تتوافق مع عدد كبير من الأجزاء المصنعة من قبل شركتين مختلفتين، ويمكن للمستخدم إقتناء تلك العناصر بشكل منفصل أو كمجموعة .

ثالثاً : النمذجة التفاعلية Interactive Prototyping

لطالما ارتبط مفهوم النمذجة التفاعلية للمنتجات بالتصميم التفاعلي، وبالعودة إلى الجذور التاريخية للفكرة يتضح أن النمذجة التفاعلية هي وليدة التصميم التفاعلي، فأدوات النمذجة التفاعلية من تجهيزات مادية وبرمجية قد ظهرت نتيجة إحتياج المصممين لإظهار الجوانب التفاعلية في التصميم، فمن المعروف بأن الكثير من المصممين الصناعيين ليسوا على دراية كبيرة بالعناصر الإلكترونية و البرمجيات ، فكيف يتسنى لهم ترجمة أفكارهم التصميمية والتعبير عنها بصورة تفاعلية و دون الدخول في تعقيدات العتاد المادي و البرمجي ؟

إن إجابة التساؤل السابق تحتم ضرورة دراسة النمذجة التفاعلية على المصمم التفاعلي والمصمم الصناعي، وذلك للإلمام بقدر من المعرفة والذي يكفي لتحقيق الجوانب التفاعلية في أفكار التصميم .

أما الفائدة الأخرى التي تعود على المصمم من التعرف على النمذجة التفاعلية فهي إدراك بعض النواحي الهندسية من تجهيزات مادية وبرمجية لكي تساعده على التواصل بصورة أفضل مع المطورين من مهندسين ومبرمجين وفنيين متخصصين وهو ما ينعكس على طريقتهم في عرض أفكار التصميم بصورة أكثر تفاعلية، وتلقي الإقتراحات بخصوص التحسينات المختلفة على تلك الأفكار .

وقبل الشروع في دراسة النمذجة التفاعلية وعلاقتها بتصميم المنتجات، والتجارب المختلفة لإستخدامها في تعليم التصميم، فمن الأجدى أولاً التعرف على بداية الفكرة .

1- بداية النمذجة التفاعلية The Begging of Interactive Prototyping

ظهرت فكرة النمذجة التفاعلية مع ظهور أول لوحة إلكترونية مفتوحة المصدر لنمذجة أفكار المنتجات التفاعلية، وبالعودة لعام 2005م كانت المرة الأولى التي ظهرت فيها لوحة الأروينو -أول لوحة تطويرية مفتوحة المصدر- وذلك بمعهد التصميم التفاعلي في إيفريا Ivrea، Interaction Design Institute، بإيطاليا، وهو ما يعكس البيئة التي أنتجت النمذجة التفاعلية، فهي أداة النمذجة الخاصة بالتصميم التفاعلي والتي يجب على مصممي المنتجات التفاعلية إتقانها، ولقد فتحت تلك اللوحة الإلكترونية مجال الإلكترونيات لعدد كبير من المصممين والمهندسين المبتكرين.

وبداية الفكرة ترجع لعام 2002م، حيث تم إختيار مهندس برمجيات Software Architect يدعي بانزي Banzi للعمل كأستاذ مشارك بمعهد التصميم التفاعلي بإيفريا، ورغم محدودية وقت الفصول الدراسية وتقليص الميزانية المطروحة إلا أن بانزي كان لديه بعض الأفكار الجيدة لتطوير النواحي الإبداعية لطلاب التصميم التفاعلي، وكمعظم زملاؤه كان على بانزي أن يقبع لمتحكم Basic Stamp، وطبقاً لبانزي فإن متحكم Basic Stamp لديه مشكلتين أساسيتين وهما: أنه لم يكن بالقدرة الحاسوبية الكافية لبعض المشاريع التي يصوغها طلابه، أما المشكلة الثانية فهي التكلفة الكبيرة للمتحكم، وعلاوة على ذلك فإن بانزي إحتاج إلى شئ لتشغيله على أجهزة Macintosh والتي تستخدم على نطاق واسع في IDII، ولهذا فإن متحكم الأردوينو الجديد هو الأنسب لتعليم النمذجة التفاعلية بالعودة إلى تلك النقطة الزمنية. (13)

فلوحات الأردوينو يمكنها الإتصال بمختلف أنواع المستشعرات والمشغلات والأجهزة الأخرى، كما انه من السهل تعلم لغتها البرمجية، والتي تتيح الإمكانية لبرمجة الإبتكارات الجديدة، فاستخدام متحكمات الأردوينو يُمكن من إبتكار جهاز تفاعلي أو روبوت متحرك أو أى نموذج تفاعلي يمكن تصوره. (14)

2- مفهوم النمذجة التفاعلية The Concept of Interactive Prototyping

لا يوجد تعريف موحد للنمذجة التفاعلية، فيمكن القول بأن تعريفها يعتمد إلى حد كبير على المجال الذي تستخدم فيه ونوعية مخرجاته التصميمية، وفي ضوء التصميم الصناعي والتصميم التفاعلي فإن مخرجات التصميم تتمثل في صورة منتجات أو خدمات أو أنظمة و هو ما يعني أن تلك المخرجات يكون لها جانب مادي يتمثل في العتاد الإلكتروني وآخر برمجي يتمثل في البرمجيات التي تحكم السلوك التفاعلي لتلك المخرجات، ومن هنا فلا بد للتعريف المصاغ أن يشير إلى كلا الجانبين في النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم الصناعي.

وعليه فيمكن صياغة تعريف مبسط للنمذجة التفاعلية في ضوء التصميم الصناعي بأنها، إستخدام منصة إلكترونية-برمجية لإعداد النماذج التفاعلية لأفكار التصميم.

والمقصود بالمنصة الإلكترونية-البرمجية هو مجموعة العناصر المادية والبرمجية التي يُمكن إستخدامها لبناء وبرمجة النماذج التفاعلية لأفكار التصميم.

أما النماذج التفاعلية فهي عبارة عن نماذج مادية أو افتراضية توضح الوظائف التفاعلية لأفكار التصميم.

3- تجارب للنمذجة التفاعلية في التصميم الصناعي Experiments for Interactive Prototyping in Industrial Design

لطالما كانت هناك العديد من التجارب للإستفادة من النمذجة التفاعلية في مجال التصميم الصناعي، و يستعرض البحث فيما يلي بعض من تلك التجارب لدراسة مدى إمكانية الإستفادة من مجموعات البناء الروبوتية في بناء النماذج التفاعلية لأفكار التصميم.

(13) <http://www.circuitstoday.com/story-and-history-of-development-of-arduino>

(14) Ole Andreas Alsos- Teaching product design students how to make everyday things interactive with Arduino- Make2Learn 2015 workshop at ICEC'15, September 29, 2015, Trondheim, Norway.

3-1- وسائط النمذجة التفاعلية Interactive Prototyping Media

يقدم قسم تصميم المنتجات بالجامعة النرويجية للعلوم و التكنولوجيا the Norwegian University Of Science and Technology

برنامجاً للماجستير في مجال التصميم الصناعي , وهو يضم تخصصين هما : تصميم المنتج Product Design , والتصميم التفاعلي Interactive Design , وكلاهما يحتاج لمعرفة أساسيات البرمجة لكي

يمكن الطلاب من إبتكار تصميمات تفاعلية جيدة , ولكي يتمكنوا أيضاً من التواصل مع المطورين .

وفي عصر إنترنت الأشياء (IOT) Internet Of Things فإن الحاجة تدعو المصمم الصناعي إلى تعلم البرمجة و ذلك ليتمكن من جعل منتجاته أكثر تفاعلية مع المستخدم.

ويقدم قسم علوم الحاسوب والمعلومات في الجامعة النرويجية للعلوم والتكنولوجيا (NTNU) دورة لتعليم البرمجة لطلاب التصميم الصناعي وذلك لتمكينهم من تحقيق الجوانب التفاعلية في منتجاتهم وأعمالهم الفنية , وتسمى تلك الدورة بوسائط النمذجة التفاعلية Prototyping Interaction Media , وهي تهدف لتعليم البرمجة لطلاب الفن والتصميم من خلال المشروعات.

وفي هذه الدورة يتعلم طلاب التصميم الصناعي البرمجة باستخدام لوحات الأردوينو Arduino وبالاعتماد على لغة Processing , والتي تمثل منصة إلكترونية-برمجية مفتوحة المصدر وسهلة الاستخدام وهي معدة لصنع المشروعات التفاعلية , فهي عبارة عن حاسوب صغير قابل للبرمجة يمكن من خلاله تحقيق أشياء مميزة باستخدام الأكواد المناسبة و العناصر الإلكترونية .

وللأردوينو عدد كبير من المكتبات البرمجية المعدة سلفاً من قبل مبرمجين آخرين والتي يمكن من خلالها معالجة العديد من المشكلات , وهو ما يبسط إستخدامها فهي تشبه بناء الأشياء من خلال قطع مديولية جاهزة .⁽¹⁵⁾ ولقد كان لتلك الدورة العديد من المخرجات المبتكرة في مجال التصميم , فمن خلالها قام الطلاب ببناء 6 مشروعات تفاعلية مع تحقيق النماذج المادية لها , وتلك المشروعات هي :

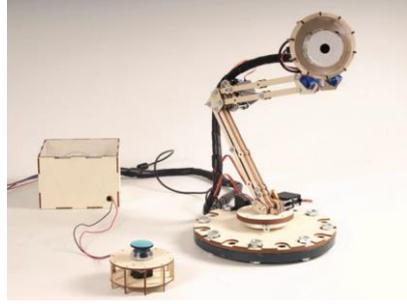
مشروع Beat Ball و هو عبارة عن آلة عزف مستوحاة من مكعب روبيكس Rubics cube , و الشكل (4) يوضح هذا المشروع .



شكل (4) مشروع Beat Ball

⁽¹⁵⁾ Ole Andreas Alsos- Teaching product design students how to make everyday things interactive with Arduino- Make2Learn 2015 workshop at ICEC'15, September 29, 2015, Trondheim, Norway.

مشروع Argus Ball وهو عبارة عن وحدة إضاءة تفاعلية متحركة يمكنها البحث عن الوجوه في حيز معين والتعرف على الإبتسامات وإلتقاط الصور ونشرها على موقع تويتر Twitter, والشكل (5) يوضح هذا المشروع .



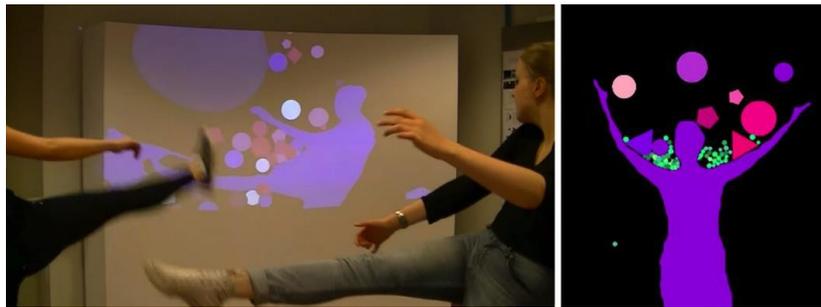
شكل (5) مشروع Argus Ball

مشروع Ghost Writer, وهو عبارة عن آلة كتابة ذاتية ترجع إلى عشرينات القرن العشرين ويمكنها التحوار كتابياً مع المستخدم , والشكل (6) يوضح هذا المشروع . (16)



شكل (6) مشروع Ghost Writer

مشروع PLAY, وهو عمل فني عبارة عن تجهيز تفاعلي في الفراغ حيث يستخدم الظل في اللعب بالأشياء الساقطة , والشكل (7) يوضح هذا المشروع .



شكل (7) مشروع PLAY (17)

(16) Ole Andreas Alsos- Teaching product design students how to make everyday things interactive with Arduino- Make2Learn 2015 workshop at ICEC'15, September 29, 2015, Trondheim, Norway.

(17) Ole Andreas Alsos- Teaching product design students how to make everyday things interactive with Arduino- Make2Learn 2015 workshop at ICEC'15, September 29, 2015, Trondheim, Norway.

مشروع Rubber Beats, وهو عبارة عن وحدة صوت رقمية, حيث يمكن تغيير خصائص الصوت من خلال تحريك مكعبات مطاطية على سطح مستوي, والشكل (8) يوضح هذا المشروع.



شكل (8) مشروع Rubber Beats

مشروع Discover, وهو عبارة عن مشغل موسيقى لمسي, يمكن للمستخدم من خلاله إستكشاف موسيقى جديدة عن طريق تحريك إسطوانة على مسطح مستوي, والشكل (9) يوضح هذا المشروع.



شكل (9) مشروع Discover (18)

3-2- النمذجة التفاعلية : تعليم التفاعلية للمصممين الصناعيين

إن التطورات المختلفة في مجالات التصميم منذ سبعينات القرن العشرين وحتى بداية القرن الحادي والعشرين هو ما فرض العديد من التغيرات في تعليم التصميم الصناعي, فالمصممين الصناعيين لم يعد دورهم مقتصرًا على إبداع المفاهيم, بل إمتد نحو بناء التكنولوجيا, والسؤال هو كيف يمكن تعليم ذلك على أكمل صورة ممكنة؟

ونتيجة لذلك فإن العديد من جهات تعليم التصميم قامت بتطوير مقررات خاصة لتعليم النمذجة التفاعلية لطلابها, فجامعة هيلسنكي للفن والتصميم سابقاً University of Art and Design, Helsinki (جامعة آلتو حالياً) تقدم مقرراً دراسياً لتعليم النمذجة التفاعلية لطلاب مرحلة الماجستير في التصميم الصناعي, ويمتد هذا المقرر لثمانية أسابيع والهدف منه هو قيام الطلاب بتصميم نموذج إلكتروني كامل الوظائف و تقييمه من قبل المستخدمين.

ولقد أجرى العديد من التعديلات على هذا المقرر منذ بداية إنعقاده لأول مرة عام 2007م, ففي البداية كان المقرر موجهاً لطلاب مرحلة الدكتوراة, و في العام التالي تم تقديمه لمرحلة الماجستير, ومنذ ذلك الحين فإن المقرر يعقد كل عام, وفي عام 2014م كان الإصدار الثامن لهذا المقرر الدراسي, ولقد إعتد المقرر في البداية على أثنين فقط من المدربين هما

(18) Ole Andreas Alsos- Teaching product design students how to make everyday things interactive with Arduino- Make2Learn 2015 workshop at ICEC'15, September 29, 2015, Trondheim, Norway.

عالم إجتماع و مهندس ,وفي السنوات اللاحقة إنضم إليهم العديد من المدربين من مجالات أخرى مثل علوم الحاسوب والتصميم الصناعي.

إن الهدف من هذا المقرر الدراسي هو تعليم مهارات النمذجة التفاعلية لطلاب التصميم الصناعي ,والمشكلة هنا تكمن في أن قليل من طلاب وممارسي التصميم الصناعي هم من لديهم خبرة بالبرمجة والإلكترونيات ,وهو ما يعني أن طريقة تنظيم الفصل الدراسي يجب أن تبني بطريقة مألوفة للمصممين الصناعي ,ونتيجة لذلك فإن المقرر إعتد على النواحي البنائية في التعليم و ذلك لإعطاء الطلاب شعوراً بالسيطرة على سير الفصل الدراسي. ولقد تعاون القائمون على هذا المقرر مع العديد من الجهات مثل شركات مايكروسوفت كامبريدج ونوكيا ,مع الحفاظ على الحيادية في النواحي التكنولوجية والمواد المستخدمة في الفصل الدراسي. (19)

رابعاً : الإستفادة من مجموعات البناء الروبوتية في النمذجة التفاعلية Benefit from Robotic Construction Kits in Interactive Prototyping

مما تقدم يتضح أن مجموعات البناء بشكل عام ومجموعات البناء الروبوتية بشكل خاص توفر منصة (إلكترونية-برمجية) لتحقيق الأفكار المختلفة سواء بغرض العرض أو الإختبار والتعديل ,فالمكونات المادية والبرمجية لتلك المجموعات تعطي إمكانية لتحقيق النماذج المختلفة بأبسط و أسرع وسيلة ممكنة ,وتتميز النماذج الناتجة بسهولة التعديل على الشكل والوظيفة مما يساهم في تحقيق و إختبار أكثر من بديل للفكرة الواحدة بشكل أسرع ,وهذا ما لفت الإنتباه نحو إمكانية الإستفادة منها في إعداد النماذج التفاعلية لأفكار التصميم ,نظراً لثرائها بالمكونات الإلكترونية من متحكمات ومشغلات ومستشعرات وخلافه ,إضافة إلى البرمجيات اللازمة لبرمجة سلوك تلك النماذج ,وهو ما يشير إلى إمكانية الإستفادة من مجموعات البناء الروبوتية في بناء النماذج التفاعلية لمنتجات التصميم الصناعي.

ولتحقيق الإستفادة من المجموعات الروبوتية في النمذجة التفاعلية لمنتجات التصميم الصناعي فإنه يجب تحديد المرحلة التي يمكن خلالها بناء النماذج التفاعلية ,فبرنامج التصميم يتكون من أربعة مراحل رئيسية تتضمن مجموعة من المراحل الجزئية ,وهذه المراحل هي :مرحلة البحث ,مرحلة التصميم والتطوير ,مرحلة التقييم ,مرحلة التوثيق ,وفي هذا السياق فإن إمكانية الإستفادة من مجموعات البناء الروبوتية في مجال التصميم ,لا يمكن تصورها في أي مرحلة سوى مرحلة التصميم والتطوير ,حيث يمكن الإستفادة من مجموعات البناء بشكل عام ومجموعات البناء الروبوتية بشكل خاص في النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم ,و تتضمن تلك الإستفادة ثلاث مستويات على النحو التالي :

المستوى الأول: وهو الإستفادة من عناصر المجموعات الروبوتية المختلفة في تحقيق النماذج التفاعلية لأفكار وتصورات التصميم ,وذلك من خلال عمليات تصميم وبناء وبرمجة النماذج التفاعلية المختلفة بإستخدام مجموعات البناء الروبوتية ,سواء المجموعات القياسية الخاصة أوالمجموعات القياسية العامة DIY ,وعلى وجه الخصوص فإن المجموعات القياسية العامة DIY و التي توفر العناصرالإلكترونية والبرمجية اللازمة لبناء وبرمجة مختلف النماذج التفاعلية لأفكار التصميم ,وعليه يمكن إعتادها إلى حد كبير في بناء تلك النماذج.

المستوى الثاني: وهو الإستفادة من أفكار البناء والتركيب الخاصة بالمجموعات الروبوتية في تصميم مجموعة بنائية تهدف لتصميم وبناء و برمجة النماذج التفاعلية لأفكار ومنتجات التصميم الصناعي ,وفي هذا الصدد فإن كلا من

(19) Ilpo Koskinen, Jussi Mikkonen – Interactive Prototyping: Teaching Interaction to Industrial Designers- The Hong Kong Polytechnic University-2014.

ممارسي ودارسي التصميم الصناعي ,يمكنهم الإستفادة من تلك المجموعات حيث أنها سوف تسهل تحقيق النماذج التجريبية وبناء النماذج التفاعلية لأفكار التصميم .

المستوى الثالث :وهو الإستفادة من مجموعات DIY في تعليم النمذجة التفاعلية لطلاب التصميم الصناعي ,حيث تمثل تلك المجموعات منصة تعليمية سهلة الإستخدام بما توفره من عناصر إلكترونية من متحكمات ومشغلات ومستشعرات و برمجيات وهو ما يعني إمكانية إستخدامها في تعليم المفاهيم والعلاقات الخاصة بالنمذجة التفاعلية لطلاب التصميم الصناعي بصورة بنائية وبعيداً عن التعقيدات الخاصة بالتجهيزات الإلكترونية والبرمجية المختلفة والتي لا تتناسب مع طبيعة الدراسة في التخصص.

النتائج Results

توصل البحث إلى النتائج التالية :

- تعد النمذجة التفاعلية أحد الوسائل المساعدة للمصمم في عرض و إختبار أفكار التصميم بصورة أكثر تفاعلية .
- تتكون مجموعات البناء الروبوتية من عناصر مادية (مستشعرات ,مشغلات ,متحكمات ,عناصر إتصال وخلافه) ومجموعة برمجية إضافة إلى سلسلة من تعليمات البناء والبرمجة ,وهو ما يجعلها بمثابة منصة سهلة الإستخدام لبناء النماذج التفاعلية .
- من الممكن الإستفادة من مجموعات البناء الروبوتية في بناء وبرمجة النماذج التفاعلية لأفكار التصميم سواء بشكل كلي (بناء وبرمجة النموذج بشكل كامل بالإعتماد على المجموعة الروبوتية) أو جزئي (بناء وبرمجة جزء من النموذج) .
- من الممكن الإستفادة من فلسفة البناء والتركيب الخاصة بمجموعات البناء الروبوتية في تصميم مجموعة بناء قابلة للبرمجة يمكن إستخدامها في إعداد النماذج التفاعلية لأفكار التصميم الصناعي.
- من الممكن إستخدام مجموعات البناء الروبوتية في تعليم النمذجة التفاعلية لطلاب التصميم الصناعي بشكل مبسط سواء للمستوى الجامعي أو مراحل الدراسات العليا .
- الإستفادة من فلسفة البناء والتركيب والبرمجة الخاصة بمجموعات البناء الروبوتية في تعليم النمذجة التفاعلية لطلاب التصميم الصناعي سواء للمستوى الجامعي أو لطلاب الدراسات العليا .
- إن محدودية عناصر البناء والبرمجة الخاصة بمجموعات البناء الروبوتية تعد المحدد الوحيد لإستخدامها كمنصة لبناء وبرمجة للنماذج التفاعلية لأفكار التصميم ,وهو ما يمكن معالجته بإعداد مجموعة متخصصة لتلك النماذج.

التوصيات Recommendations

يوصي البحث بما يلي:

- التعمق في دراسة مجموعات البناء الروبوتية ومجموعات البناء القابلة للبرمجة بشكل عام وذلك لما توفره تلك المجموعات من أدوات لتحقيق النماذج التفاعلية لأفكار التصميم.
- توجيه المزيد من الأبحاث لدراسة النمذجة التفاعلية لأفكار التصميم وذلك للتعرف بشكل أكبر على تلك الظاهرة و كيفية الإستفادة منها في تصميم المنتجات.
- الإستفادة من إمكانيات البناء والبرمجة التي توفرها مجموعات البناء الروبوتية في تحقيق النماذج التفاعلية لأفكار التصميم سواء بشكل كلي أو جزئي.
- تصميم مجموعة بناء قابلة للبرمجة لإستخدامها في إعداد النماذج التفاعلية لأفكار التصميم الصناعي.

- استخدام مجموعات البناء الروبوتية ومجموعات البناء القابلة للبرمجة بشكل عام كمنصات لتعليم النمذجة التفاعلية لطلاب التصميم.
- الاستفادة من فلسفة البناء والتركيب والبرمجة الخاصة بمجموعات البناء الروبوتية في تعليم النمذجة التفاعلية لطلاب التصميم الصناعي.

المراجع

1. Bagnall, Brian -Maximum LEGO NXT: Building Robots with Java Brains Variant Press - 2007.
2. Gordon McComb – Robot Builder’s Bonanza – Forth Edition – McGraw-Hill – 2011.
3. Ilpo Koskinen, Jussi Mikkonen – Interactive Prototyping: Teaching Interaction To Industrial Designers- The Hong Kong Polytechnic University-2014.
4. Jerry Lee Ford, JR – LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 for Teens - Book – Library of Congress, Boston, USA – 2011.
5. LEGO MINDSTORMS EV3 – Education Edition – User Guide – 2013.
6. LEGO MINDSTORMS EV3 – Home Edition – User Guide – 2013.
7. Ole Andreas Alsos- Teaching product design students how to make everyday things interactive with Arduino- Make2Learn 2015 workshop at ICEC’15, September 29, 2015, Trondheim, Norway.
8. <http://www.circuitstoday.com/story-and-history-of-development-of-arduino>
9. <http://www.frankhornby.com/>
10. <https://is.muni.cz/el/1433/jaro2015/IA158/um/lego.pdf>
11. <http://learningmaterialswork.com/about/toy-history/>
12. <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/>
13. <http://www.robotshop.com/blog/en/robot-construction-kits-13107>
14. <http://robotsquare.com/2013/11/25/difference-between-ev3-home-edition-and-education-ev3/>