الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

الجامعة الافتراضية السورية

التصميم من أجل التفكيك بالاعتماد على نمذجة معلومات البناء

Design for deconstruction based on building information modelling

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في إدارة و نمذجة معلومات البناء

إعداد الطالبة:

زين هنداوي

zeen_196020

إشراف:

الدكتورة: لما سعود

العام الدراسي:2024

شكر و تقدير

الشكر لله تعالى على فضله وتوفيقه

أتوجه بجزيل الشكر والامتنان إلى كل من كان له دور في إتمام هذا البحث وأخص بالشكر: مشرفتي **الدكتورة لما سعود** التي حظيت بتفضلها بالإشراف على بحثي ومتابعتي منذ بداية اختيار الموضوع وحتى آخر حرف كتب لإخراج هذا البحث إلى الوجود بالشكل الأمثل والأكمل.

و أتقدم بعظيم الامتنان و الشكر للجنة المناقشة الأفاضل الذين ناقشوني في هذه الدراسة و شاركوني ملاحظاتهم القيمة و توجيهاتهم الحكيمة

و جميع أعضاء هيئة التدريس الكرام في برنامج ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء في الجامعة الافتراضية السورية بمقدمتهم **الدكتورة سونيا الأحمد** مديرة برنامج ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء في الجامعة الافتراضية السورية على سعيها الدائم وجهودها المستمرة في دعم الطلاب ورفع مستوى البرنامج.

قائمة المحتويات:

الملخص:.....5

Abstract: 6

الفصل الأول:مقدمة عن فكرة البحث 7

1. المقدمة: 9
2. مشكلة البحث:.....8
3. أهمية البحث:.....9
4. أهداف البحث:.....9
5. منهجية البحث:.....9
6. أدوات البحث:.....10
7. عينة البحث: 10
8. حدود البحث:.....10
9. الدراسات السابقة: 10
10. تحليل الدراسات السابقة:.....17
11. مصطلحات البحث:.....18
12. هيكل البحث: 19

الفصل الثاني:القسم النظري 20

1. نمذجة معلومات البناء: 21
   - 1.1. الميزات الرئيسية لBIM : 21
   - 1.2. فوائدBIM : 21
   - 1.3. تطبيقاتBIM :.....22
   - 1.4. برمجياتBIM: 22
   - 1.5. مستقبلBIM :.....22
2. التصميم من أجل التفكيك (DFD):.....23
   - 2.1. المبادئ الرئيسية للتصميم لأغراض التفكيك: 23
   - 2.2. استراتيجيات DFD: 23
   - 2.3. فوائد التصميم للتفكيك: 24
   - 2.4. عوامل رئيسية لفعالية DFD: 24

2.5. الحواجز و التحديات: 24
2.6. عوامل نجاح استعادة المواد في عمليةDFD:..... 25
3. تفكيك البنية الفولاذية: 25
4. الوصلات الفولاذية:..... 27
5. دور نمذجة معلومات البناء في التصميم للتفكيك:..... 27
6. درجة تقييم قابلية التفكيك (DAS):..... 29
7. استخدام تكنولوجيا نمذجة معلومات البناء في تقييم قابلية تفكيك المباني BIM-DAS: 29
الفصل الثالث: التطبيق العملي..... 30
1. توصيف المشروع: 31
1.1. الوصف المعماري للمشروع: 31
2. مؤشرات قابلية تفكيك المباني:..... 32
2.1. مؤشرات درجة التفكيك Dscore:..... 32
2.2. مؤشرات درجة الاسترداد Rscore: 32
3. حساب قابلية تفكيك المباني DAS :..... 32
3.1. حساب درجة التفكيك (Deconstruction Score (Dscore: 33
3.2. حساب درجة الاسترداد (Recovery Score (Rscore:..... 33
4. الدراسة العملية: 34
4.1. إدخال البارامترات لمجموعة من المؤشرات على الريفيت: 34
4.2. تطبيق البرمجة المرئية باستخدام الداينمو:..... 36
النتائج:..... 46
التوصيات:..... 49
المراجع و المصادر:..... 50
1. المراجع الأجنبية: 50
2. المراجع العربية:..... 51

قائمة الأشكال:

(1) مؤشرات درجة الاسترداد و درجة التفكيك 29
(2) مسقط الطابق الأرضي 31
(3) مسقط يظهر كامل المبنى من الأعلى 31
(4) منظور للمبنى بأكمله 32
(5) إضافة البارامترات من قائمة Manage 34
(6) إنشاء بارامترات جديدة 34
(7) البارامترات المستخدمة في المشروع 35
(8) لقطة من برنامج الريفيت لإظهار البارامترات من قائمة الخصائص Properties..... 35
(9) لقطة لإظهار أمر الداينمو 36
(10) لقطة من الداينمو لإظهار كيفية إدراج Packages جديدة 36
(11) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لتحديد كل عناصر المشروع 36
(12) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر الجاهزة Rp 37
(13) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة نوع القسم في النظام الفرعيtn..... 37
(14) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب عدد الوصلات الحاملةC_B 38
(15) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب عدد البراغي من نوع الاحتكاكC_F 38
(16) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب عدد الوصلات الملحومةC_w 39
(17) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب عدد الوصلات المبتكرة C_I 39
(18) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة الوصلات القابلة للفكdc 40
(19) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب درجة التفكيك Dscore 40
(20) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر القابلة لإعادة الاستخدام R1 41
(21) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر القابلة لإعادة التدوير R2 41
(22) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر بدون تشطيب ثانوي Rs 42
(23) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر الغير سامة Rx 42
(24) لقطة للعقد المستخدمة لحساب R1، R2، Rs،Rx 43
(25) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب درجة الاسترداد Rscore 43
(26) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب درجة قابلية تفكيك المبنى DAS 44
(27) لقطة لكل العقد المستخدمة في الداينمو لحساب درجة قابلية تفكيك المبنى DAS..... 45
(28) مخطط للبديلين 1 و 2 47
(29) مخطط للبديلين 2 و 3 48
(30) مخطط لكل البدائل 1 و 2 و 3 49

الملخص:

إن تطبيق نمذجة معلومات البناء (BIM) أدى إلى تطور كبير في مجال البناء و التصميم خلال دورة حياة المبنى بما في ذلك مرحلة الهدم و التفكيك، حيث يوفر ال BIM منصة مركزية لتخزين المعلومات المتعلقة بمواد البناء وأساليب التثبيت والتفكيك. يمكن لهذه المعلومات أن تكون مفيدة خلال مرحلة التفكيك، حيث يمكن الوصول إلى تفاصيل حول كيفية تفكيك كل جزء وإعادة استخدامه أو إعادة تدويره و كذلك يساهم في تقليل كمية النفايات الناتجة عن الهدم والتفكيك، من خلال تعزيز إعادة استخدام المواد.

بالاعتماد على مبادئ التصميم من أجل التفكيك DFD قمنا في هذه الرسالة بتطوير المؤشرات لتقييم قابلية تفكيك المباني بالاعتماد على نمذجة معلومات البناء في مرحلة التصميم و ذلك عن طريق إدخال هذه المؤشرات ضمن نموذج ثلاثي الأبعاد و باستخدام الداينمو في البرمجة المرئية طورنا أداة لتقييم قابلية تفكيك المباني.

حيث طبقنا هذه المؤشرات على مبنى معدني مكون من طابق واحد عن طريق الريفيت و أوجدنا قيمة درجة قابلية تفكيك المبنى عن طريق البرمجة المرئية باستخدام الداينمو لثلاث بدائل كما أخذنا في الاعتبار التجهيزات الكهربائية و الميكانيكية و الصحية في المبنى كونهم جزء لا يتجزأ من المبنى.

توضح هذه الرسالة مساهمة نمذجة معلومات البناء في التصميم من أجل التفكيك عن طريق حساب درجة قابلية تفكيك المباني كما تظهر تأثير استخدام المواد الغير سامة و البراغي و الجدران الفولاذية على درجة قابلية تفكيك المباني.

Abstract:

The application of Building Information Modelling (BIM) led to a significant development in construction and design during the building's life cycle including the demolition and deconstruction phase, where BIM provides a central platform for preserving information about building materials and methods of installation and dismantling. This information can be useful during the deconstruction phase, where details of how each part is dismantled, reused or recycled can be accessed and contribute to reducing the amount of waste from demolition and dismantling, by encouraging the reuse of materials.

Based on principles for DFD, in this letter we have developed indicators to evaluate the deconstruction of buildings based on Building Information Modelling at the design stage by introducing these indicators into a 3D model and using dynamo in visual programming.

We applied these indicators to a single-story metal building via Rivet and calculated the value of the Deconstructability Assessment Score (DAS) through visual programming using dynamo for three alternatives. Electrical, mechanical and plumbing equipment was taken into consideration at the time of the Deconstruction Assement Score calculation as an integral part of the building.This letter illustrates the contribution of building information modelling to the design for deconstruction by calculating the Deconstructability Assessment Score DAS of buildings and also shows the impact of the use of non-toxic materials, bolts and steel walls on the DAS of buildings.

الفصل الأول:مقدمة عن فكرة البحث

1. المقدمة:

التصميم من أجل التفكيك DFD : هو مفهوم جديد لمجتمع التصميم والبناء ومساهم مهم في التصميم من أجل البيئة(DFE) , حيث أن DFE هو اعتبار شامل للتصميم المتعلق بالآثار البيئية.[8]

تهدف DFD إلى إنشاء مبانٍ لتقليل استهلاك المواد الجديدة والنفايات في بنائها وتجديدها وهدمها، وزيادة حياة المباني في الموقع، وإنشاء مبانٍ تشكل مخزوناً من مواد البناء المستقبلية. يهدف هذا التمكين من الحفاظ على المواد والمباني التي تسهل استعادة مكوناتها للتكرار التالي إلى توفير فوائد اقتصادية وبيئية للبناة والمالكين والشاغلين والمجتمعات التي تقيم فيها هذه المباني.[8]

و لسنوات عديدة، واجهت صناعة البناء التقليدية ثورة تكنولوجية بسبب الحاجة إلى عمليات غير تقليدية مع أخطاء مخففة، ووقت بناء أقل، وجودة تصميم أكثر فعالية، وحل النزاعات عالية. وبناءً على ذلك، ظهرت نمذجة معلومات البناء (BIM) لتوفير هذه الميزات المطلوبة. تم استخدام BIM على نطاق واسع في صناعة البناء نتيجة للوعي بأهمية تنفيذه. بالإضافة إلى الفوائد الرئيسية لتصميم BIM للتصميم المفاهيمي ودراسات الجدوى وكشف الصدام وما إلى ذلك، فإنه يساهم بقوة في مختلف قطاعات البناء؛ السلامة، وإدارة المرافق، وإصلاح المباني التراثية، وما إلى ذلك. [1]

كما أن نماذج BIM لديها القدرة على إظهار العلاقات بين عناصر البناء. عندما يقوم المصمم بتحديث النموذج، يتم تحديث جميع العلاقات بين عناصر المبنى تلقائياً مما يجعل من السهل على تخصصات المشروع تحديث نماذجهم وتصحيح الأخطاء بسبب نقص التنسيق. وبالمثل، يعزز LOD مستوى تطوير نمذجة الهيكل التي تسهم مباشرةً في وضع النماذج التفصيلية للعناصر والمكونات مع جميع المعلومات اللازمة لخطة التفكيك. يوفر BIM اتصالاً ومشاركة محسّنة لجميع أصحاب المصلحة في المشروع في وقت مبكر من عملية التصميم لضمان إضافة قيم كبيرة (القدرة على البناء والتفكيك) إلى المشروع.

وثمة ميزة هامة أخرى تتمثل في استخدام نظام BIM وهي أنه يوفر للمصممين والمتعاقدين القدرة على تحمل تكاليف تحديد الهوية الدائمة لجميع مكونات الهيكل؛ عناصر، وصلات، ومقاومة للحريق، وما إلى ذلك. علاوةً على ذلك، يعزز BIM القدرة على إثراء نموذج الهيكل بجميع المعلومات اللازمة لكل مكون؛ العدد والوزن والدرجة وما إلى ذلك. تسمح حسابات الأداء الآلية وتغييرات النماذج بتنسيق خيارات التصميم المختلفة ودراستها لاتخاذ القرار الصحيح مبكراً من خلال محاكاة جوانب مختلفة من سلوك المبنى مثل: خطة التفكيك.

وبناءً على ذلك، فإن وجود الخطة في نموذج مستنير بالكامل قائم على BIM مع LOD لا يقل عن 400 يجب أن يكون عاملاً قوياً لتسهيل وتحسين تصميم عملية التفكيك.

2. مشكلة البحث:

أدى هدم المباني لاستخدام الأراضي من أجل إنشاء مباني بديلة إلى ازدياد نفايات الهدم و البناء و لتقليل هذه النفايات و الحد من آثارها البيئية والاقتصادية يجب التعامل مع المشكلة في المصدر، والتي عادةً ما تكون في مرحلة التصميم من خلال التصميم للتفكيك (DfD) لاستعادة مواد ومكونات البناء من أجل إعادة الاستخدام أو إعادة التدوير وذلك لأن مواد البناء تكون عادةً غير قابلة للاسترداد وترسل في نهاية المطاف إلى مدافن النفايات.

3. أهمية البحث:

تبرز أهمية هذا البحث من الحاجة لتصميم مكونات المباني في البداية من أجل التفكيك DfD مما يوفر فوائد كبيرة في جميع ركائز الاستدامة الثلاثة (الاقتصادية والاجتماعية والبيئية). و تبرز أهمية التصميم من أجل التفكيك عند:

- احتمال حدوث تغييرات في المباني بسبب التآكل، والاحتياجات المكانية، والتفضيلات الجمالية، والتحسينات التكنولوجية أو غيرها من التحسينات في الكفاءة.[8]
- إسقاطات الاتجاهات التنظيمية والاتجاهات الديمغرافية أو اتجاهات استخدام الأراضي أو الاتجاهات الاقتصادية التي ستؤثر على المبنى.[8]
- الاحتياجات المكانية الخاصة في سياق الأنماط التنظيمية لمستخدمي المباني التي ستكون صعبة بدون التصميم من أجل التفكيك.[8]
- مواجهة الأضرار الكارثية المحتملة التي يمكن أن تلحق بعناصر المبنى وما ينتج عنها من نفايات، وارتفاع تكاليف الإصلاح والاستبدال.[8]

4. أهداف البحث:

يهدف البحث إلى تطوير المؤشرات لتقييم قابلية تفكيك المباني بالاعتماد على نمذجة معلومات البناء في مرحلة التصميم و ذلك عن طريق إدخال هذه المؤشرات ضمن نموذج ثلاثي الأبعاد و تطوير أداة لتقييم قابلية تفكيك المباني باستخدام الداينمو في البرمجة المرئية.

5. منهجية البحث:

سيتم عمل هذا البحث عن طريق:

أولاً: المراجعة النظرية: بالاعتماد على الدراسات المرجعية المنشورة سابقاً في مجال التصميم من أجل التفكيك سيتم إيجاد أهم مؤشرات قابلية تفكيك المباني.

ثانياً: استخدام بيئة الBIM لتطوير أداة لتقييم قابلية تفكيك المباني، و ذلك باستخدام الريفيت لإدخال المؤشرات و تطبيق البرمجة المرئية باستخدام الداينمو لتطوير هذه الأداة.

ثالثاً: تطبيق أداة قابلية تفكيك المباني DAS على مبنى للتحقق من كفاءة هذه الأداة حيث تم تطبيق هذه الأداة على 3 بدائل.

6. أدوات البحث:

6.1. الأدوات النظرية:

بالاعتماد على المراجع والمقالات لتطوير مؤشرات قابلية تفكيك المباني.

6.2. الأدوات التطبيقية:

استخدام الريفيت لإدخال المؤشرات و البرمجة المرئية باستخدام الداينمو لتطوير أداة لتقييم قابلية تفكيك المباني.

7. عينة البحث:

سيتم إجراء البحث على مبنى معدني مكون من طابق واحد و ذلك لإظهار كيفية تقييم قابلية تفكيك المباني في الريفيت باستخدام الداينمو.

8. حدود البحث:

الحدود الزمنية : سوف يتم العمل على هذا البحث خلال فترة 3 شهور.

9. الدراسات السابقة:

9.1. A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure Deconstructability:[1]

تم إعداد هذه الدراسة عام 2019 من قبل الباحثين:

Andrew Basta, Mohammed Hassanien Serror, Mohamed Marzouk

حيث تم نشرها في مجلة Automation in Construction

يهدف هذا البحث إلى تحديد أهمية قابلية التفكيك و (DFD) في صناعة AEC بالإضافة إلى تأثير نقص الأدوات التكنولوجية لتقييم قابلية تفكيك الهياكل الفولاذية، حيث تم إجراء استعراض شامل للأدبيات يوفر قاعدة بيانات معرفية قوية لاستراتيجيات التفكيك و التحديات و عوامل النجاح الحاسمة، و تم تلخيص 22 مبدأ من المبادئ الأساسية الموصى بتفكيكها و التي من شأنها أن تعزز تصميم التفكيك و ممارسة نهاية العمر الافتراضي.

تتكون المنهجية المتبعة في هذه الدراسة من 7 أجزاء و هي:

- تحليل العناصر الأساسية الفولاذية.
- تقديم حلول مبتكرة للمشاكل التقليدية.
- تعديل المعادلة السابقة لتقييم قابلية التفكيك (DAS) لاعتماد البارامترات المختارة حيث تم النظر في نسبة العناصر المقاومة للحريق القابلة لإعادة الاستخدام.
- إنشاء نموذج SS-DAS Dynamo .

- إدراج بارامترات SS-DAS مع النموذج ثلاثي الأبعاد.
- إنشاء Families للحلول المبتكرة.
- تطبيق الاطار القائم على BIM على عدة بدائل من هيكل فولاذي حقيقي و اختيار أعلى درجة SS-DAS للبديل المصمم.

تم تطبيق الإطار المقترح القائم على BIM على دراسة حالة لهيكل فولاذي حقيقي تم تشييده في عام 2017 حيث تم تطبيق هذا الاطار على عدة بدائل و هي:

- حالة الأساس: تم تصميم المبنى بالتفاصيل وفقاً لرسومات التصميم الأصلية و كان مؤشر SS-DAS لهذا النموذج هو الأدنى مقارنة بالبديلين الآخرين نظراً لوجود عدد كبير من الوصلات الملحومة و الأعمدة المبنية وأنظمة مقاومة الحرائق التقليدية غير القابلة للتفكيك.
- سبعة بدائل للحلول المبتكرة: تم استخدام كل بديل للتصميم بشكل فردي و ذلك للتعرف على تأثير كل من الحلول المبتكرة على عوامل درجة التفكيك Dscore ، ثم تم استخدام الرسم البياني للدينامو SS-DAS لحساب مؤشر SS- DAS لكل بديل. على التوالي، تم إجراء مقارنة لتوضيح تأثير كل حل. أخيراً، تم نمذجة بديلين للتصميم يعتمدان مجموعة من الحلول المبتكرة ذات التأثير الأعلى على SS-DAS و تم حساب مؤشر SS-DAS.
- البديل 1 و 2: عقب البدائل السبعة للحلول المبتكرة وحساب مؤشر SS-DAS، تم إنشاء بديلين للتصميم باستخدام مزيج من هذه الحلول المبتكرة.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها التأثير الكبير لاستخدام الحلول المبتكرة كبدائل تصميم لتحسين مؤشر SS-DAS و كشفت النتائج أن استخدام الاطار القائم على BIM يوفر مؤشراً دقيقاً ل SS-DAS يشير إلى قابلية تفكيك النموذج.

9.2. Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy [2]

تم إعداد هذه الدراسة بين عامين 2018-2019 من قبل الباحثين:

Lukman A. Akanbi, Lukumon O. Oyedele, Kamil Omoteso, Muhammad Bilal, Olugbenga O. Akinade, Anuoluwapo O. Ajayi, Juan Manuel Davila Delgado, Hakeem A. Owolabi.

و تم نشرها في مجلة Journal of Cleaner Production

توفر هذه الدراسة القدرة لبرمجيات BIM على دمج تحليل أداء نهاية العمر في تصميم المباني و عملية البناء و ذلك من خلال تطوير نظام تحليلات التفكيك.

تتمثل الأهداف فيما يلي:

- تصميم بنية D-DAS لإدارة مخاوف نهاية العمر للمباني.
- تنفيذ D-DAS ضمن بيئة برمجيات BIM.
- اختبار التنفيذ و تقييم النظام مع سيناريوهات مختلفة لتصميم دراسة حالة إفرادية.

تم اعتماد نهج متعدد الطبقات لتطوير بنية نظام تحليلات التفكيك لD-DAS وهناك أربع طبقات في بنية النظام وهي: طبقة تخزين البيانات والطبقة الدلالية وطبقة التحليلات والنموذج الوظيفي وطبقة التطبيق، و تم تنفيذ D-DAS في هذه الدراسة عن طريق مكونات إضافية لبرنامج BIM (تم تطوير تنفيذ D-DAS في الريفيت ك Revit Plug-in باستخدام Revit 2017 SDK و لغة البرمجة Visual C#). توفر هذه الأداة للمهندسين وسيلة لفحص تأثير استخدام نوع مادة في عنصر بناء معين. وبهذه الوظيفة، يمكن اختيار مواد البناء بحيث يتم التقليل من نفايات البناء والتفكيك إلى أدنى حد.

تم تحديد نهجين لتنفيذ نظام تحليلات التفكيك: النهج الأول هو تكامل وظائف D-DAS مع برنامج BIM الحالي كمكمل إضافي والنهج الثاني هو دمج وظائف المحاكاة والتصور لـ D-DAS كمنصة تصور مستقلة. يعتمد دمج D-DAS المستقل على برامج المحاكاة ومحرك الألعاب (أي D Max3 و Unity).

لاختبار وتقييم أداء D-DAS، تم استخدام تصميم دراسة حالة لمبنى يحتوي على مستويات من ثلاثة طوابق. تم استخدام بارامترات تصميم ومواصفات مواد مختلفة للمكونات الهيكلية للمبنى للحصول على ثلاثة سيناريوهات من تصميم المبنى.

تم استخدام المكونات الإضافية D-DAS لتقييم تصميم المبنى لأداء نهاية العمر، و إظهار قيم المدخلات المطلوبة في نموذجي BEDA و BWLPA لكل من سيناريوهات تصميم المباني الثلاثة.

توفر هذه المنصة الوسيلة للمهندسين المعماريين ومهندسي التصميم لتجربة مجموعات متنوعة من المواد على مكونات البناء المختلفة واختيار مزيج تم تحسينه لتنسيق نهاية الحياة.

يكشف التأثير الأكاديمي لهذه الدراسة عن فهم كيفية تنفيذ نتائج الأعمال الأكاديمية المختلفة في تقليل النفايات وتحويلها إلى نظام برمجيات عملي مفيد لممارسي صناعة البناء. وتتوقف الآثار المترتبة على الممارسة على الحاجة إلى اعتماد نظام BIM للحفاظ على الريادة في صناعة البناء المتغيرة والمنافسة للغاية .لذلك، تدمج هذه الدراسة تحليلات التفكيك في برنامج BIM لدعم مصممي المباني والمهندسين.

9.3. BIM-based deconstruction tool: Towards essential functionalities [3]

تم إعداد هذه الدراسة عام 2017 من قبل الباحثين:

Olugbenga O. Akinade, Lukumon O. Oyedele, Kamil Omoteso, Saheed O. Ajayi, Muhammad .Bilal, Hakeem A. Owolabi, Hafiz A. Alaka, Lara Ayrisf , John Henry Looney

حيث تم نشرها في مجلة International Journal of Sustainable Built Environment

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد الوظائف الأساسية لأدوات DfD القائمة على BIM هذا لأن الأدلة تظهر أن قرارات التصميم لها تأثير كبير على دورة حياة المباني بأكملها وأن الفلسفة القائمة على التصميم توفر نهجاً مرناً وفعالاً من حيث التكلفة لإدارة دورة حياة البناء.

ولتحقيق أهداف هذه الدراسة، تم تقييم أوجه القصور في أدوات التصميم للتفكيك القائمة ومناقشة دور إدارة المعلومات في التصميم للتفكيك الفعالة. بعد ذلك، تم استخدام إطاراً منهجياً تفسيرياً وصفياً من أجل تعزيز الاستكشاف المتعمق للكيفية التي يمكن أن تساعد بها تجربة الخبراء في معالجة الظاهرة قيد الدراسة.

حيث تم البدء بوصف «تجارب الباحثين الخاصة متبوعة بوصف المناقشات النصية والهيكلية لتجارب المشاركين» حيث يسمح هذا للباحث بالانتقال من وحدة تحليل ضيقة إلى وحدات أوسع. و تتبع الأبحاث التفسيرية الوصفية

نهجاً تحليلياً موجزاً مفترضاً. حيث تم إجراء تحليل مواضيعي باستخدام مخطط ترميز مناسب لتحديد الوحدات ذات المعنى من البيانات الهامة وتصنيفها في مواضيع متكررة.

و بعد إجراء مجموعة من FGIs (مخطط الترميز) لمناقشة وظائف BIM لـ DfD مع محترف من صناعة البناء، يكشف التحليل النوعي للبيانات عن سبع وظائف رئيسية لأدوات DfD القائمة على BIM وتشمل الوظائف الرئيسية ما يلي: '1' تحسين التعاون بين أصحاب المصلحة، '2' تصور عملية التفكيك، '3' تحديد المواد القابلة للاسترداد، '4' وضع خطة التفكيك، '5' تحليل الأداء ومحاكاة بدائل نهاية العمر، '6' تحسين إدارة دورة حياة المباني، '7' قابلية التشغيل المتبادل مع برمجيات BIM الحالية. ثم تم تطوير الوظائف الرئيسية في إطار وظيفي لدمج أدوات DfD الحالية مع منصات BIM.

تقدم هذه الدراسة مساهمات مزدوجة: '1' تعمل نتائج هذه الدراسة على تحسين فهم وظائف BIM وكيف يمكن استخدامها لتحسين فعالية أدوات DfD الحالية، و '2' سيدعم إطار وظائف BIM تنفيذ نماذج البرمجيات القائمة على BIM لإدارة DFD. ولهذه المساهمات آثار هامة على البحوث والممارسات الصناعية. يسلط إطار وظائف BIM الضوء على إمكانات BIM في قيادة عملية DfD الفعالة وتوفير أساس لتطوير أدوات DfD القائمة على BIM.

سيستفيد مطورو برامج BIM وأدوات DfD من نتائج هذه الدراسة من خلال توفير فهم أعمق لما هو مطلوب لتمكين DfD القائم على BIM. وبالتالي يمكن الاستفادة من قدرات BIM للتصور والتحليل لمحاكاة عمليات التفكيك من مرحلة التصميم.

9.4. Waste minimization through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS) [4]

تم إعداد هذه الدراسة عام 2015 من قبل الباحثين:

Olugbenga O. Akinade , Lukumon O. Oyedele , Muhammad Bilal , Saheed O. Ajayi , Hakeem A. Owolabi, Hafiz A. Alaka, Sururah A. Bello

حيث تم نشرها في مجلة Resources, Conservation and Recycling

الهدف العام لهذه الدراسة هو تطوير درجة تقييم قابلية تفكيك معلومات البناء

(BIM-DAS) لتحديد مدى إمكانية تفكيك المبنى مباشرة من مرحلة التصميم. حيث تم تحديد المبادئ الأساسية لتنمية DFD و تطويرها لتصبح اطاراً و تم استخدامها لتطوير BIM-DAS باستخدام تقنيات النمذجة الرياضية و اختبار BIM-DAS باستخدام نهج دراسة الحالة لإثبات قدراتها و تقييم أدائها العام. وقد تحقق ذلك باستخدام ثلاث دراسات إفرادية لنموذج بناء له خصائص مادية مختلفة. وتشمل دراسات الحالة هيكلاً فولاذياً وهيكلاً خشبياً وهيكلاً خرسانياً.

و لإجراء التقييم النموذجي تم نمذجة المبنى في الريفيت و جرد المواد و بناء على ذلك تم تقدير جدول كمي لكل نموذج لتحديد تفاصيل مكونات المباني ثم تم تصدير هذا إلى الاكسل و حساب درجة DAS لكل تصنيف تصميمي باستخدام النموذج الرياضي المطور.

تحدد النتائج استخدام عناصر المباني جاهزة الصنع واستخدام الوصلة القابلة للفك بوصفها العوامل الرئيسية التي ينبغي أخذها في عين الاعتبار عند التصميم لأغراض التفكيك.

توفر درجة BIM-DAS أساساً للتحليل المقارن لنماذج البناء لاختيار التصميم الأكثر قابلية للتفكيك من بين الخيارات دون التأثير على أشكال البناء أو وظيفته. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي درجة BIM-DAS إلى توجيه أو معيار لمراقبة تشييد المباني نحو استدامة نهاية العمر.

تساعد نتائج هذه الدراسة أيضاً في فهم كيفية استخدام وظائف BIM لتحسين فعالية أدوات إدارة CDEW الحالية وبرامج BIM. سيفيد هذا العمل البحثي جميع أصحاب المصلحة في صناعة البناء وخاصة المهتمين بالتصميم للتفكيك. وفي نهاية المطاف، سيوفر دمج BIM-DAS في برمجيات BIM الحالية أساساً لمقارنة قابلية تفكيك نماذج البناء أثناء التصميم.

9.5. Design for Deconstruction and Materials Reuse [5]

تم إعداد هذه المقالة من قبل الباحثين: Bradley Guy, Scott Shell

تناقش هذه المقالة مبادئ التصميم للتفكيك والدروس المستفادة من ممارسة التفكيك لاقتراح مبادئ توجيهية لتصميم التفكيك كشكل من أشكال البنية المسؤولة بيئياً و تركز على المستويات العامة: البناء الكامل والعناصر والمكونات والمكونات الفرعية والمواد. وقد وردت قائمة بمفاهيم التصميم ومكوناته لتيسير تفكيك المباني. كما تم وضع أهداف التصميم للتفكيك في هذه المقالة و هي:

- الإزالة السريعة للمبنى من موقع البناء.
- الحد من الضغوط البيئية والصحية والسلامة بالنسبة للعمال.
- سهولة الوصول إلى المكونات والمواد، ومنع الضرر في عملية التفكيك.
- تخفيض تكاليف الأدوات والمعدات، مثل معدات السقالات والحماية من السقوط، والأدوات المتخصصة، واستخدام مشغلين متخصصين أو ملحقات للمعدات الثقيلة لتسهيل العملية.
- إزالة المنتجات الثانوية من النفايات من العملية.
- استعادة المواد ذات الكفاءة العالية في إعادة الاستخدام وإعادة التدوير، أي أنها تتطلب الحد الأدنى من التجهيز الإضافي لتحقيق أعلى عائد على الاستثمار في عملية التفكيك.
- القضاء على السمية في مواد البناء التي تؤثر على إعادة الاستخدام و التي تقلل من فرص إعادة الاستخدام/إعادة التدوير.
- زيادة طول عمر المبنى بحيث يكون من غير المرجح أن يحدث التفكيك من خلال القدرة الكامنة على التكيف التي سينقلها التصميم للتفكيك إلى المبنى.

و تم اقتراح نهج لتصميم التفكيك و هو استخدام المفاهيم الأساسية لتصميم التفكيك من صناعة المنتجات جنباً إلى جنب مع تصنيف الصفات العامة للمبنى وعناصره الرئيسية، وأخيراً للتعلم من تفكيك المباني التي بنيت في القرن 20. تم اكتشاف العديد من الموضوعات المتعلقة بالتصميم المستقبلي للتفكيك من خلال هذا البحث الميداني للمباني القائمة ويمكن استخدام الدروس المستفادة من هذه الدراسة للتصميم من أجل التفكيك في المستقبل.

9.6. DESIGN FOR DISASSEMBLY – THEMES AND PRINCIPLES [6]

تم إعداد هذه المقالة عام 2005 من قبل الباحث: Philip Crowther

و تم نشرها في Royal Australian Institute of Architects

تغطي هذه المذكرة مجموعة من المواضيع وتقدم مجموعة من المبادئ، أو المبادئ التوجيهية، للتصميم لغرض التفكيك والتي يمكن تطبيقها على المشروع من أجل تشجيع معدلات أكبر لإعادة الاستخدام وإعادة التدوير في المستقبل. من خلال تقديم إرشادات أكثر تحديدًا حول سبب ومتى وكيفية التصميم للتفكيك. علاوةً على ذلك، تصف علاقة أكثر تطوراً بين القضايا المهمة المحيطة بالتصميم للتفكيك.

تمت مراجعة الأمثلة التاريخية والمعاصرة للمباني التي تم تفكيكها لإعادة استخدام المواد والمكونات، إما عن طريق التصميم أو غير ذلك، و تحديد قائمة تضم 27 مبدأ للتصميم من أجل التفكيك، حيث يمكن استخدام هذه المبادئ كمبادئ توجيهية للتصميم.

وتم إيجاد ثلاثة مواضيع عامة تؤثر بشكل كبير على عملية صنع القرار لتصميم مبنى للتفكيك في المستقبل. هي: 1) نموذج شامل للبناء المستدام بيئياً. 2) قراءة مبنى كسلسلة من الطبقات ذات حياة خدمة مختلفة. 3) تسلسل هرمي لإعادة التدوير يعترف بالفوائد المختلفة لسيناريوهات نهاية العمر المختلفة.

و تمت ملاحظة أن هناك مجموعة من سيناريوهات لإعادة التدوير المحتملة مع مجموعة من النتائج. إذا تم النظر في النتائج التقنية لعملية التفكيك، فمن الممكن تحقيق أربع نتائج مختلفة و هي: 1) إعادة استخدام مبنى بأكمله. 2) إنتاج مبنى جديد. 3) إنتاج مكونات جديدة للمباني. 4) إنتاج مواد بناء جديدة.

وسيتصل ذلك بأربعة سيناريوهات محتملة لانتهاء العمر:

1) إعادة استخدام المباني أو نقلها. 2) إعادة استخدام العنصر أو نقله في مبنى جديد.

3) إعادة استخدام المواد في صنع مكونات البناء الجديدة. 4) إعادة تدوير المواد إلى مواد بناء جديدة.

حيث توصل الباحثون على أنه يجب أن تعمل أي استراتيجية شاملة لتصميم مبنى فردي للتفكيك في المستقبل ضمن الهيكل الحالي لصناعة البناء، وتطوير صناعة إعادة التدوير وإعادة الاستخدام بسرعة. يجب أن تؤخذ الإرشادات المقدمة في هذه الدراسة كنقطة انطلاق لتطوير استراتيجيات فردية للمباني الفردية. سيكون التصميم للتفكيك أكثر فائدة (بيئياً واقتصادياً) للعملاء الذين يمتلكون مبانيهم لفترات طويلة والذين يقومون بتحديثها أو تعديلها بشكل دوري. من المرجح أن يتم تقدير الفوائد طويلة الأجل للتصميم من أجل التفكيك وتحقيقها حتى لو تمت مواجهة التكاليف الاقتصادية قصيرة الأجل.

ويمكن ملاحظة أن الخطوات التكنولوجية التي يمكن اتخاذها، من خلال التصميم، لتحسين معدلات استرداد المواد والمكونات في المستقبل هي ليست معقدة ولا غريبة عن الممارسة الصناعية الحالية. كما أنها تتوافق مع الممارسة العامة للتصميم الجيد، ومع محاولات تحسين الاستدامة البيئية لصناعة البناء.

9.7. DEVELOPING AN INCLUSIVE MODEL FOR DESIGN FOR DECONSTRUCTION [7]

تم إعداد هذه المقالة عام 2001 من قبل الباحث: Philip Crowther

تلخص هذه المقالة إلى أن الفهم الشامل لتصميم التفكيك في الهندسة المعمارية يجب أن يهتم بأربع قضايا رئيسية هي : 1) نموذج مهيمن للبناء المستدام. 2) نظرية طبقات البناء ذات الصلة بالوقت. 3) تسلسل هرمي لإعادة التدوير. 4) مبادئ تصميم التفكيك.

ستساعد المعرفة بهذه القضايا في الإجابة على الأسئلة الأساسية حول سبب ومتى وأين وماذا وكيفية التصميم للتفكيك. تتمثل أهمية نظرية الطبقات بالقدرة على تقسيم مكونات المبنى إلى حزم من نفس العمر المتوقع أو ما شابه ذلك بحيث يمكن تفكيك حزمة كاملة بشكل ملائم من المبنى لاستبدالها و/أو إعادة تدويرها و/أو إعادة استخدامها في مكان آخر. حيث يمكن اعتبار المبنى كمجموعة من الطبقات و ليس ككيان واحد. هذه الطبقات مفيدة في تحديد الأماكن داخل المبنى حيث يحدث التفكيك بشكل أكثر فائدة، وفي أي وقت. أما بالنسبة للتسلسل الهرمي لسيناريوهات نهاية العمر بالنسبة لعملية التصميم تتمثل أهميته في إمكانية تصميم منتج أو مبنى لتيسير السيناريوهات الأكثر فائدة من الناحية البيئية، حيث أظهر هذا الفرع كيف يمكن تمثيل مفهوم إعادة التدوير بشكل أنسب بمجموعة من سيناريوهات نهاية العمر و ترتيب هذه السيناريوهات في تسلسل هرمي، بحيث تكون إعادة الاستخدام (بشكل عام) أكثر فائدة من الناحية البيئية من إعادة التدوير أو التخلص.

كما تشمل مصادر المعلومات عن تصميم التفكيك المستخدمة في هذا البحث ما يلي:

التصميم الصناعي - التكنولوجيا المعمارية - قابلية البناء - صيانة المباني - البحث في التفكيك.

تكشف دراسة استقصائية للأمثلة التاريخية عن عدد من الاتجاهات التكنولوجية الشائعة التي تشير إلى إمكانية وضع مبادئ توجيهية لتصميم التفكيك في المباني. يمكن تجميع هذه الاتجاهات تقريباً في أفكار حول المواد والأنظمة الهيكلية والوصول ونوع الاتصال وعدد المكونات والتكنولوجيا المناسبة.

و نتج عن هذا البحث بعض الإرشادات الصريحة لقابلية البناء التي يجب أن تساعد أيضاً في تصميم التفكيك. وتتعلق هذه المبادئ التوجيهية في المقام الأول بمسائل المناولة والوصول والتجهيز الجاهز.

و قد تم إيجاد طريقة أنسب لتمثيل العلاقة بين المبادئ والتسلسل الهرمي لإعادة التدوير، وهي طريقة تسمح بأن تكون المبادئ ذات صلة بجميع سيناريوهات نهاية العمر، عبر مصفوفة مجدولة وبهذه الطريقة يمكن ملاحظة أهمية كل مبدأ بالنسبة لكل مستوى من مستويات إعادة التدوير.

9.8. Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building. [8]

تم إعداد هذا الدليل من قبل الباحثين: Brad Guy , Nicholas Ciarimboli

هذا الدليل هو مقدمة لمبادئ وأساليب ومواد التصميم للتفكيك في البيئة المبنية. إنه مخصص للمالكين والمهندسين المعماريين والمصممين والبنائين، حيث يساعد في تسهيل التحقيقات ودمج هذا الجانب المهم من التصميم والبناء المستدامين.

يتضمن الدليل مايلي: المشاكل في التصميم الحالي – تعريف التصميم للتفكيك - المبادئ الرئيسية العشرة للتصميم للتفكيك - استراتيجيات مفصلة - فوائد التصميم للتفكيك - عملية التصميم - استراتيجية إعادة الاستخدام أو إعادة التدوير - التسلسل الهرمي لأهداف إدارة موارد التصميم للتفكيك - قيم DfD - خطة التفكيك - ملخص التصميم - دراسات حالة إفرادية - صفات المواد لتعزيز DfD.

تم استخدام الاطار The Six S's According to Stewart Brand حيث يتم وصف دراسات الحالة والمنتجات باستخدام نظام S الستة: الموقع - الهيكل – الجزء الخارجي من المبنى(مثل التشطيبات الخارجية) - الخدمات - خطة تقسيم المبنى من الداخل و التشطيبات الداخلية – الأشياء مثل المفروشات و الإضاءة. تهدف هذه الفئات إلى المساعدة في وصف المباني بأنها «طبقات للتغيير».

و تم عرض عدة دراسات لمباني وفق الاطار السابق و تصنيفها في فئات تبعاً لوظيفة كل مبنى و هي:

- مباني سكنية : مثل مبنى Marie Short House وTwo-Family House و OPEN_1 House و R 128 House .
- مباني مؤسسية: مثل مبنىIntelligent Workplace at Carnegie Mellon University و California College of the Arts (CCA) .
- مباني تجارية : مثل مبنى IKEA و Wal-Mart Eco-Store .
- مباني صناعية : مثل مبنى Herman Miller SQA .

كما تم ذكر بعض المهام التي يجب التأكد من الاطلاع عليها من أجل خطة تفكيكية ناجحة:

- بيان استراتيجية إدارة التصميم للتفكيك المتصلة بالمبنى.
- عناصر البناء القائمة.
- تقديم تعليمات حول كيفية تفكيك العناصر.
- توزيع خطة التصميم للتفكيك.

10. تحليل الدراسات السابقة:

10.1. التعليق على الدراسات السابقة:

تناولت عدة دراسات مبادئ وأساليب ومواد التصميم للتفكيك في البيئة المبنية و فوائد و أهداف التصميم من أجل التفكيك كما تناولت نظرية طبقات البناء و السناريوهات المحتملة لنهاية العمر و التسلسل الهرمي لإعادة التدوير .

حددت بعض الدراسات الوظائف الأساسية لأدوات التصميم من أجل التفكيك القائمة على البيم و بعضها تناول تطوير درجة تقييم قابلية تفكيك المباني عن طريق مكونات إضافية لبرامج BIM (في الريفيت ك plug-in باستخدام لغة البرمجة).

كما تم حساب درجة قابلية تفكيك المباني باستخدام نموذج رياضي مطور و تنفيذه إما عن طريق نموذج dynamo و تطبيقه على عدة بدائل (حيث تم إنشاء families للوصلات المبتكرة كما تم النظر في نسبة العناصر المقاومة

للحريق القابلة لإعادة الاستخدام و من ثم اختيار البديل الأمثل) أو عن طريق حسابه بالاكسل بعد تصدير جدول كميات المواد و العناصر من الريفيت

هذه الدراسات لم تأخذ التجهيزات الميكانيكية و الكهربائية و الصحية بعين الاعتبار كما لم تقارن بين بدائل تحوي على مواد خطرة و بدائل غير حاوية على مواد خطرة لإظهار مدى تأثير هذه المواد على إعادة التدوير و درجة قابلية تفكيك المباني.

10.2. أوجه التشابه و الاستفادة من الدراسات السابقة:

تم الاستفادة من الدراسات السابقة لتحديد المبادئ الأساسية للتصميم من أجل التفكيك و مؤشرات قابلية تفكيك المباني المعدنية و تنفيذ النموذج الرياضي المطور لحساب درجة قابلية تفكيك المباني عن طريق البرمجة المرئية باستخدام الداينمو.

10.3. أوجه الاختلاف عن الدراسات السابقة:

تختلف هذه الدراسة عن الدراسات السابقة بأخذ التجهيزات الميكانيكية و الكهربائية و الصحية بعين الاعتبار.

في هذه الدراسة لم نتطرق لحالة استخدام وصلات مبتكرة و إنما تمت المقارنة بين بديل يحوي على لحام فقط و بديل يحوي على براغي في بعض الوصلات المستخدمة .

كما تختلف هذه الدراسة عن الدراسات السابقة بمناقشة استبدال المواد الخطرة بمواد آمنة و صديقة للبيئة و بعض العناصر الخشبية كالأبواب و النوافذ بالالمنيوم و جدران البلوك الخارجية بجدران فولاذية لإظهار تأثيرهم على قيمة درجة قابلية تفكيك المباني.

11. مصطلحات البحث:

DFD Design for Deconstruction: التصميم من أجل التفكيك.

DFE Design for Environment: التصميم من أجل البيئة.

DAS Deconstructability Assessment Score: درجة تقييم قابلية التفكيك.

BIM Building Information Modeling: نمذجة معلومات البناء.

AEC Architecture Engineering Construction: العمارة و هندسة الإنشاء.

COBie Construction Operations Building Information Exchange: تبادل المعلومات المتعلقة بعمليات التشييد والمباني.

Deconstruction Score D_{score}: درجة التفكيك.

Rscore Recovery Score: درجة الاسترداد.

12. هيكل البحث:

الفصل الأول: مقدمة عن فكرة البحث:

مشكلة البحث - أهمية البحث وأهدافه - منهج البحث وأدواته - عينة الدراسة - حدود البحث – الدراسات السابقة – مصطلحات البحث.

الفصل الثاني: القسم النظري:

- تعريف بتكنولوجيا نمذجة معلومات البناء BIM ، التصميم من أجل التفكيك ، تفكيك البنية الفولاذية ، الوصلات الفولاذية.
- دور نمذجة معلومات البناء في التصميم من أجل التفكيك و درجة قابلية تفكيك المباني DAS و استخدام تكنولوجيا نمذجة معلومات البناء في تقييم قابلية تفكيك المباني BIM-DAS .

الفصل الثالث: التطبيق العملي:

- اعتمدنا على عدة خبراء للتأكد من مؤشرات قابلية تفكيك المباني و تطبيق قوانين تقييم قابلية التفكيك و ذلك بإدخال هذه المؤشرات على مبنى معدني عن طريق الريفيت و تطوير أداة قابلية تفكيك المباني عن طريق البرمجة المرئية باستخدام الداينمو.
- تطبيق هذه الأداة على 3 بدائل و إظهار النتائج و مناقشتها و اختيار البديل الأمثل.
- التوصيات.

المراجع و المصادر:

- المراجع الأجنبية.
- المراجع العربية.

الفصل الثاني:القسم النظري

1. نمذجة معلومات البناء:

هي مجموعة من التكنولوجيات والعمليات والسياسات تمكن العديد من أصحاب المصلحة من تصميم، إنشاء وتشغيل منشأة بشكل تعاوني في فراغ افتراضي أي أنها تمثيل رقمي للخواص المادية والخدمية للمنشأة حتى يتم استخدامها كمصدر للمعلومات عند اتخاذ القرارات خلال دورة حياة المشروع.[12]

1.1. الميزات الرئيسية لBIM :

1.1.1. النمذجة ثلاثية الأبعاد: عمل نموذج دقيق غني بالمعلومات للمبنى Modeling Accurate. [12]

1.1.2. إدارة البيانات: يقوم BIM بتركيز البيانات حول كل مكون من مكونات المبنى، مما يجعله متاحاً لجميع أصحاب المصلحة. وهذا يشمل التفاصيل المعمارية والإنشائية، والميكانيكية، والكهربائية، والسباكة.

1.1.3. التعاون: يسمح BIM بالتعاون السلس بين المهندسين المعماريين، والمهندسين، والمقاولين، والمالكين. يمكن لأصحاب المصلحة العمل في نفس المشروع في وقت واحد، وتقليل الأخطاء وتعزيز الكفاءة.

1.1.4. المحاكاة والتصور: تحسين عملية الإخراج النهائي Visualization والمحاكاة Simulation والإظهار Rendering.[12]

1.1.5. إدارة دورة الحياة: يدعم BIM دورة الحياة الكاملة للمبنى، من المفهوم الأولي إلى التصميم والبناء والتشغيل والهدم في نهاية المطاف. يساعد في إدارة المرافق وصيانتها من خلال توفير معلومات دقيقة ومحدثة حول المبنى.

1.2. فوائدBIM :

1.2.1. تحسين الدقة: نماذج BIM مفصلة ودقيقة للغاية، مما يقلل من احتمالية حدوث أخطاء في مرحلتي التصميم والبناء.

1.2.2. تقدير التكلفة: يسمح البيم بالتصور من أنشطة البناء والتكاليف المستحقة. بالإضافة إلى ذلك، تقدير التكلفة هو أكثر دقة مع بيم لأنه يمثل تقريباً البناء وبالتالي كمية المواد تكون أكثر دقة من طرق تقدير التكاليف التقليدية وتلافي التكلفة المهدرة نتيجة سوء التخطيط ولعدم الرؤية الواضحة للمشروع.[12]

1.2.3. حل المشاكل قبل حدوثها: خصوصاً المشاكل التي تحدث أثناء التصميم وأثناء التنفيذ.[12]

1.2.4. الربط بين التصميم والتنفيذ Implementation & Design: من خلال إدارة المنشأ والتعاون بين جميع الأقسام (ميكانيكي وكهرباء ومعماري وإنشائي) لحل أي تعارض بينهاAccess & Collaboration. [12]

1.2.5. الاستدامة: يمكن لـ BIM تحسين أداء البناء والاستدامة من خلال تحليل الطاقة، تحسين إدارة المرافق، إدارة المواد، الحد من النفايات وعدم الكفاءة، تحسين التصميم، الإضاءة النهارية، استخدام البيم في مشاريع التجديد. [12]

1.2.6. إدارة المخاطر: من خلال تحديد القضايا المحتملة في وقت مبكر من مرحلة التصميم، يساعد BIM في التخفيف من المخاطر المرتبطة بمشاريع البناء.

1.3. تطبيقاتBIM :

1.3.1. التصميم والتصور: يستخدم المهندسون المعماريون والمصممون BIM لإنشاء وتصور الهياكل المعقدة، مما يضمن أن التصميم يتم تمثيله وتوصيله بدقة.

1.3.2. تخطيط البناء: يستخدم المقاولون BIM لتخطيط وإدارة أنشطة البناء، بما في ذلك التسلسل، ولوجستيات الموقع، والتنسيق بين المهن.

1.3.3. إدارة المرافق: يستخدم المالكون ومديرو المرافق BIM لصيانة وإدارة المبنى بمجرد تشغيله، والاستفادة من البيانات للصيانة والإصلاحات.

1.3.4. مشاريع البنية التحتية: يستخدم BIM أيضاً في مشاريع البنية التحتية مثل الطرق والجسور والمرافق، مما يوفر نظرة شاملة على تأثير المشروع وتكامله مع الأنظمة الحالية.

1.4. برمجياتBIM:

يتم استخدام العديد من البرمجيات فيBIM ، ومن أشهر هذه البرمجيات:

Autodesk Revit: يستخدم على نطاق واسع في التصميم المعماري والهندسة الإنشائية وMEP.

1.5. مستقبلBIM :

من المرجح أن ينطوي مستقبل BIM على تكامل أكبر مع تقنيات أخرى مثل:

1.5.1. الذكاء الاصطناعي :(AI) يمكن للذكاء الاصطناعي تعزيز BIM من خلال التنبؤ بالنتائج وتحسين التصميمات وأتمتة المهام الروتينية.

1.5.2. إنترنت الأشياء :(IoT) يمكن للتكامل مع إنترنت الأشياء توفير بيانات في الوقت الفعلي من المباني، وتحسين الصيانة والكفاءة التشغيلية.

1.5.3. الواقع الافتراضي والمعزز :(VR/AR) يمكن أن يوفر الواقع الافتراضي/الواقع المعزز تجارب غامرة، والمساعدة في مراجعة التصميم والتدريب ومشاركة أصحاب المصلحة.

1.5.4. الحوسبة السحابية: تتيح حلول BIM القائمة على السحابة إمكانية وصول وتعاون وقدرات تخزين البيانات بشكل أكبر.

باختصار، تعمل تقنية BIM على إحداث ثورة في صناعة الهندسة المعمارية والبناء (AEC) من خلال تعزيز الدقة والتعاون والكفاءة طوال دورة حياة المبنى. مع استمرار تطور التكنولوجيا، من المتوقع أن تتوسع تطبيقاتها وفوائدها، مما يدفع الابتكار والاستدامة في مشاريع البناء والبنية التحتية.

2. التصميم من أجل التفكيك (DFD):

هو تصميم المباني لتسهيل التغيير في المستقبل والتفكيك النهائي (جزئيًا أو كليًا) لاستعادة الأنظمة والمكونات والمواد. و عملية التصميم تشمل تطوير التجميعات والمكونات والمواد وتقنيات البناء ونظم المعلومات والإدارة لتحقيق هذا الهدف. والهدف من استعادة المواد هو زيادة القيمة الاقتصادية إلى أقصى حد وتقليل الآثار البيئية إلى أدنى حد من خلال إعادة الاستخدام والإصلاح وإعادة التصنيع وإعادة التدوير فيما بعد، و استعادة الطاقة من المواد والتحلل البيولوجي الآمن.[8]

2.1. المبادئ الرئيسية للتصميم لأغراض التفكيك:

2.1.1. التصميم المعياري: استخدام مكونات مسبقة الصنع وموحدة يمكن تجميعها وتفكيكها بسهولة وتيسير استبدال الأجزاء دون التأثير على الهيكل العام.

2.1.2. اختيار المواد: اختيار المواد القابلة لإعادة التدوير أو إعادة الاستخدام أو القابلة للتحلل وتجنب المواد المركبة وذات التشطيبات الثانوية التي يصعب فصلها والمواد الخطرة.

2.1.3. الوصلات والمثبتات: استخدام مثبتات ميكانيكية مثل البراغي والمسامير بدلاً من المواد اللاصقة واللحامات للسماح بسهولة فصل المكونات واستخدام وصلات التصميم التي يمكن الوصول إليها.

2.1.4. التوثيق والتصنيف: توفير وثائق مفصلة وتوصيف المواد والمكونات لضمان سهولة التعرف عليها وإعادة استخدامها وإنشاء نموذج رقمي (BIM) لتخطيط المراجع والتفكيك في المستقبل.

2.1.5. تصميم مرن ومتكيف: تصميم المباني مع إمكانية التكيف في المستقبل، مما يسمح بالتغييرات في الاستخدام دون هدم كبير ووضع دورة حياة المبنى وخطط للتفكيك أو التجديد في المستقبل.

2.2. استراتيجيات DFD:

2.2.1. متوسط العمر المتوقع لأجزاء مختلفة من المبنى: يمكن تعريف طبقات المبنى بعمر خدمة مختلف يعرف أيضاً بالطبقات الزمنية حيث صُنفت المباني في ست طبقات و كان عمرها الافتراضي على النحو التالي : 1) الموقع، 2)الهيكل (30-300 عام)، 3) الجلد (20 عامًا) الذي يفصل الداخل عن الجزء الخارجي من المبنى، 4) الخدمات (7-15 عامًا) مثل السباكة وأنظمة رش الحريق و التهوية و التكييف والأجزاء المتحركة مثل المصاعد، 5) خطة المكان (3-30 عامًا) بما في ذلك التخطيطات الداخلية مثل المكونات الافتتاحية ومكونات السقف والأرضيات، 6) الأشياء كأثاث.

تؤدي مراقبة نظرية الطبقات إلى تسهيل صيانة المبنى خلال فترة تشغيله، و أيضا إدارة أداء نهاية العمر من خلال تقسيم تجمعات المبنى إلى مكونات بنفس العمر المتوقع أو ما يعادله، فإن نقل المواد والمكونات إلى هدفها المخطط له أثناء و في نهاية عمر المبنى سيكون غير معقد. لذلك، يمكن تفكيك كل جزء بسهولة لاستبداله أو إعادة تدويره أو إعادة استخدامه. [9]

2.2.2. النظر في سيناريوهات نهاية العمر لكل جزء:

وهي: 1) إعادة الاستخدام : باستخدام جزء أكثر من مرة، 2) إعادة التصنيع: أي تقسيم أحد المكونات إلى مكونات فرعية واستخدامه في تصنيع المنتج الجديد، 3) إعادة التدوير: إعادة تدوير مكون في المادة الأساسية لاستعادة المواد الخام في عملية إنتاج جديدة، 4) الصيانة: لإطالة العمر الأولي للمادة أو المكون الذي يشمل الاستبدال أو الإصلاح. حيث أن السيناريوهين الأولين أكثر كفاءة من حيث الوقت والطاقة. 5) التخلص الآمن من المواد السامة.[9]

2.2.3. الأخذ في عين الاعتبار أي مستوى من التفكيك سيكون الهدف الرئيسي لكل سيناريو نهاية عمر المشروع: وهي ثلاثة مستويات تشمل: 1) مستوى النظام: مثل المبنى القابل للتكيف، أي نقل المبنى، 2) مستوى المنتج: استبدال أو تحديث طبقة بناء محددة، 3) مستوى المواد يستهدف إعادة استخدام أو إعادة تدوير مادة.[9]

2.3. فوائد التصميم للتفكيك:

- البيئية: تقلل من النفايات المرسلة إلى مدافن النفايات، وتحافظ على الموارد الطبيعية.
- الاقتصادية: خفض التكاليف المرتبطة بالهدم والتخلص من النفايات، وخلق فرص لإعادة بيع المواد وخلق فرص العمل في صناعة التفكيك.
- الاجتماعية: تعزز التنمية المستدامة، وتدعم الاقتصادات المحلية، وتشجع الإدارة المسؤولة للموارد.

2.4. عوامل رئيسية لفعالية DFD:

1)السياق: هو عنصر محفز في التنفيذ الفعال للتصميم من أجل التفكيك، والكفاءة في السياق تعني التخطيط للتفكيك و وجهة المواد والمكونات المصنفة في مرحلة نهاية عمر البناء، 2) تقنيات التجميع وهندسة المكونات: أي استخدام المكونات المعيارية، والمثبتات التي يمكن الوصول إليها، والموصلات الميكانيكية، وتجنب المكونات المركبة، فإن العناصر المستقلة توفر إمكانات تفكيك ولكن ليس بالضرورة أن تكون هناك إمكانات لإعادة استخدام المكونات المفككة حيث تساهم بنية وشكل المكون في التجميع الفعال و يؤدي استرداد المكونات دون حدوث أضرار مادية إلى زيادة إمكانية إعادة الاستخدام، 3) اختيار المواد.[9]

2.5. الحواجز و التحديات:

2.5.1. عدم وجود تشريعات صارمة للتصميم من أجل التفكيك: عدم وجود تشريعات حكومية للمرافق المفككة، كما تفضل أكواد التصميم بشكل عام استخدام مواد جديدة.[10]

2.5.2. نقص المعلومات الكافية في تصميم المباني: نقص المعلومات عن المواد القابلة للاستخراج، و نقص معلومات التفكيك، و عدم كفاية المعلومات المتعلقة بأساليب فصل المواد الفعالة من حيث التكلفة.[10]

2.5.3. عدم وجود سوق كبير بما يكفي للمكونات المستعادة: لا يوجد نظام توحيد وتصنيف للمواد التي تم إنقاذها، الإدراك المتصور والمخاطر المرتبطة بالمواد المستصلحة، ضمانات الأداء المنخفض للمواد المستردة، جماليات متدهورة للمواد التي تم إنقاذها، اعتبارات التخزين للمواد المستردة،

اعتبارات النقل للمواد المستردة، لا يوجد نظام لتبادل المعلومات للمواد التي تم إنقاذها، تكلفة إعادة اعتماد المنتج.[10]

2.5.4. صعوبة إعداد دراسة جدوى للتصميم من أجل التفكيك: تكاليف إضافية للتصميم تجعل المشروع أكثر تكلفة، قيود التأمين والضمانات القانونية للمواد المستصلحة، DfD سيزيد من وقت التصميم، تغير معايير الصناعة ومنهجية البناء.[10]

2.5.5. عدم وجود المهارة والمعرفة: إن اعتماد التصميم من أجل التفكيك يتطلب تدريب المصممين والبناة والعاملين في مجال التفكيك على ممارسات التصميم بغرض التفكيك.

2.6. عوامل نجاح استعادة المواد في عمليةDFD:

- التشريعات والسياسات الصارمة: أي التركيز على التشريعات الحكومية لوضع خطة تفكيك إلزامية.[9]
- عملية تصميم التفكيك والكفاءات: تحديد ووضع معايير للتفكيك، وتثقيف وإشراك أخصائيي التفكيك والهدم، و وضع خطة التفكيك قبل التصميم، وخطة إدارة النفايات، وخطة التفكيك، واستخدام BIM لمحاكاة تسلسل تفكيك المباني وإنتاج COBie للاحتفاظ بمعلومات المكونات في مرحلة التصميم. [9]
- التصميم لاستعادة المواد: أي تجنب استخدام المواد المركبة وتصميم الأساس القابل للسحب من الأرض [9].
- التصميم لإعادة استخدام المواد: الذي يضيف تصميماً لوصلات الصلب (إمكانات إعادة التدوير العالية وإنتاج الطاقة والنفايات الأقل تجسيداً). [9]
- تصميم لمرونة البناء: الذي يضيف التنسيق البعدي بين المكونات، وتوحيد تخطيطات وأشكال المباني، والأهم هو تصميم وهيكلة المكونات بالنظر إلى مقوماتها.[9]

من خلال تبني مبادئ واستراتيجيات DfD، يمكن لصناعة البناء التحرك نحو اقتصاد أكثر استدامة ودائرية، مما يقلل في النهاية من تأثيرها البيئي ويساهم في الحفاظ على الموارد على المدى الطويل.

3. تفكيك البنية الفولاذية:

في الوقت الحاضر، يستخدم الفولاذ على نطاق واسع في المباني مثل المباني متعددة الطوابق متعددة الأغراض وناطحات السحاب والجسور والمباني التجارية وما إلى ذلك نظراً لمزاياه الرائعة.[1]

إن القوة والمتانة وقابلية الاستخدام والقدرة على التكيف والمرونة والجماليات تؤهل الفولاذ ليكون الاختيار المثالي. ومن مزايا الفولاذ: [1]

- جاهز الصنع؛ عمليات المصانع الفعالة للتصنيع الجاهز.
- قابل لإعادة التدوير؛ يمكن إعادة تدويره دون فقدان الجودة.
- قابل للتفكيك؛ يمكن تفكيكه وإعادة استخدامه.

تخضع عملية إعادة التدوير لعملية كثيفة الاستخدام للطاقة لتشكيل منتجات فولاذية جديدة .[1]

تتمثل أحد المبادئ الرئيسية في تصميم المباني الفولاذية في تجنب استخدام التشطيبات الثانوية والمواد الخطرة أو السامة وهذا سيقلل من احتمالية تلوث المواد التي يتم فرزها لإعادة التدوير، وسيقلل من احتمالية المخاطر الصحية التي قد تثبط التفكيك.

وكذلك استخدام الوصلات الميكانيكية بدلاً من الوصلات الكيميائية سيسمح ذلك بفصل المكونات والمواد بسهولة، وتقليل تلوث المواد، وتقليل الضرر الذي يلحق بالمكونات [6]، واستخدام الحد الأدنى من أدوات التثبيت أو الموصلات للسماح بالتفكيك السهل والسريع وحتى لا يكون إجراء التفكيك معقداً. وسيساعد هذا المبدأ في إصلاح العنصر أو في إعادة بنائه. كما أن استخدام الحد الأدنى من أنواع المثبتات أو الموصلات المختلفة يسمح بعملية تجميع وتفكيك أكثر توحيداً دون الحاجة إلى العديد من الأدوات والعمليات المختلفة.

وكذلك استخدام مجموعات فرعية جاهزة يقلل العمل في الموقع ويسمح بمزيد من التحكم في جودة المكونات ومطابقتها. ويقلل تجهيز هذه المكونات مسبقاً من حجم العمل المطلوب في الموقع، مما يسهل عملية تجميع المبنى ثم تفكيكه فيما بعد.[6]

كما يمكن تصميم وبناء المباني بحيث: العناصر التي تتطلب استبدالها أو صيانتها بشكل متكرر ليست متصلة بشكل دائم بتلك التي لها فترات صيانة أطول بكثير.[1]

ويتمثل أحد المبادئ المفيدة لتفكيك المبنى في اختيار مواد وعناصر خفيفة الوزن مثل الفولاذ عالي القوة(HSS) ، وهذا من شأنه أن يجعل التفكيك وإعادة استخدام خيار أنسب[1]

وكذلك فإن التشابه الهيكلي وتكرار العناصر من شأنه أن يعزز إجراءات التفكيك وسيساعد التشابه والتكرار طاقم التفكيك في أداء عملهم بشكل أسهل وأسرع، حيث سيفكرون مرة واحدة فقط في كيفية تفكيك العنصر أو الاتصال بالإضافة إلى طلب عدد أقل من الأدوات. بالإضافة إلى ذلك، فإن تكرار العناصر من شأنه أن يقلل من عدد المواد المستعملة المختلفة مما يؤدي إلى تبسيط عملية الفرز أثناء التفكيك ويقلل من النقل إلى مواقع مختلفة.[1]

وتم تلخيص أهم المبادئ الرئيسية التي يجب استخدامها كمبادئ توجيهية للتصميم أو تقنيات تصميم للمهندسين المعماريين ومصممي الهياكل:[1]

1. تقليل عدد أنواع المواد المختلفة إلى الحد الأدنى.
2. تجنب المواد السامة والخطرة.
3. تجنب المواد المركبة.
4. تجنب التشطيبات الثانوية.
5. توفير تحديد موحد للعناصر.
6. استخدام تكنولوجيات البناء.
7. فصل الهيكل عن الكسوة والجدران الداخلية والخدمات.
8. توفير إمكانية الوصول إلى جميع مكونات المبنى.
9. توفير خطة تفكيك كاملة.
10. وصلات التصميم للاستخدام المتكرر.
11. استخدم مواد ومكونات خفيفة الوزن.
12. استخدم وصلات التفكيك بسهولة.

13. استخدم البناء الجاف.
14. تجنب استخدام المواد اللاصقة والطلاء والبحث عن بدائل.
15. ضمان وجود مجموعة متكاملة من الرسومات «المبنية».
16. استخدم شبكة إنشائية قياسية.
17. استخدام مواد عالية الأداء مثل الفولاذ عالي القوة (HSS).
18. استخدام BIM لمحاكاة عملية تفكيك المبنى.
19. تصميم بناء الصلب (الفولاذي).

4. الوصلات الفولاذية:

فيما يلي المعلومات الرئيسية للوصلات المثبتة:

4.1. المسامير الحاملة Bearing Type Connections Cb: تستخدم دائماً للاتصالات الصغيرة أو الثانوية مثل: اتصال بعض الملحقات. يتم اختبارها فقط من أجل الشد. لذلك، لا يتم تشددها مسبقاً أو اختبارها باستخدام مفتاح عزم الدوران، وبالتالي فهي لا تتعرض لعزم الدوران أو التوتر للوصول إلى أقصى قدر من الإجهاد.

4.2. براغي نوع الاحتكاك Frictions Type Connections Cf : يتم اختبارها بمفتاح عزم الدوران، لذلك يتم عرضها للوصول إلى أقصى ضغوطها.

4.3. اللحام Welding Type Connections Cw: فيما يتعلق بالعناصر الملحومة، هناك بعض المسائل التي تسهم سلباً في تفكيك الوصلة مثل: المنطقة المتأثرة بالحرارة، وتشكل الشقوق، وتشوه الأجزاء الملحومة بعد اللحام، ومشاكل اللحام السيئة. يستخدم لحام الفيليه في الغالب في اللحام الأجزاء الثانوية للهياكل الفولاذية. عند إزالة اللحام، يمكن أن تكون العناصر الصلبة هي الجزء المختار الذي يتم تشويهه (كعنصر ثانوي) للحفاظ على سلامة العنصر الأساسي دون تشويه بسبب وزنه البسيط مقارنة مع الوزن الكلي للبنية. وبالتالي، إذا لم يتم استخدام طرق تكنولوجية مبتكرة لإزالة اللحام والحفاظ على العناصر الملحومة دون أي تشويه، فإن اللحام يعتبر خياراً ضعيفاً في التصميم من أجل التفكيك.[1]

5. دور نمذجة معلومات البناء في التصميم للتفكيك:

يلعب BIM دوراً محورياً في تصميم التفكيك من خلال تحسين التعاون، وتوفير وثائق مفصلة، وتمكين المحاكاة، ودعم الاستدامة وفعالية التكلفة. من خلال دمج BIM في عملية تخطيط التفكيك، يمكن لأصحاب المصلحة ضمان تصميم المباني وتشييدها مع وضع التفكيك المستقبلي في الاعتبار، وتعزيز الاقتصاد الدائري والحد من التأثير البيئي.

ويمكن أن يدعم ال BIM عملية التصميم للتفكيك عن طريق:

- التقاط البيانات: إنه مطلوب لجمع البيانات من طرق مختلفة مثل المسح التصويري والمسح بالليزر وأجهزة الاستشعار عالية التقنية. بمساعدة هذه البيانات، يمكن إنشاء نموذج في الوقت الفعلي.[11]

- النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D Modeling): يمكن وضع نموذج ثلاثي الأبعاد لهيكل قائم حيث تتيح أداة BIM ذات البيانات السحابية النقطية تصور شكل من أشكال الهياكل. و يمكنه تحديد البيانات المفقودة أو التحقق من الاشتباكات بين نماذج BIM المختلفة.[11]
- التعاون: يوفر منصة يصبح فيها تبادل البيانات، أي المعلومات والاتصالات ممكناً لأصحاب المصلحة. و يعمل كمركز مركزي للمعلومات التي تدفع في النهاية نحو المناقشة واتخاذ القرار. و قابلية التشغيل البيني بين أداة BIM المختلفة تجعلها أكثر فعالية.[11]
- البرمجة القائمة على الكائن: عادةً ما تكون هذه البرمجة لنماذج BIM الحالية للمشروع. إذا كانت هناك حاجة إلى إدخال المزيد من البيانات سواء يدوياً أو من مكتبة خارجية، فإن البرمجة القائمة على الكائن تيسر بارامترات إضافية.[11]
- إعادة استخدام بيانات النموذج للتحليل التنبؤي: بموجب هذه الوظيفة، يسمح BIM للنموذج بتوصيل مرافق معالجة البيانات. وبالتالي، يتم إعادة استخدام بيانات النموذج للتحليل العميق لاستخراج المزيد من المعلومات.[11]
- التقييم السريع ومحاكاة بدائل التفكيك: ستكون هذه الوظيفة مفيدة في تصور تسلسل أنشطة التفكيك للمشاريع عند استخدامها في خطوات أنشطة التشييد. يمكن لـ BIM اكتشاف الاشتباكات بين العناصر عندما يتم إنقاذها من مبنى إلى وجهة. ستحدد هذه العناصر تلقائياً العناصر التي تم الحصول عليها من الموقع وكذلك ستعطي تقديراً للنفايات من التفكيك. تجعل محاكاة تسلسل التفكيك من خلال الواقع الافتراضي العملية أكثر أماناً وأكثر قابلية للتقييم.[11]
- التوليد التلقائي للتقارير: يمكن لبيئة BIM تقديم تقارير أثناء تنفيذ عدة أهداف لتفكيك الخطوات في الموقع. وستتضمن هذه التقارير نتائج البيانات إلى البيانات المجهزة. أفضل جزء هو التحديثات في الوقت الفعلي فيما يتعلق بتحديث نموذج BIM وأحداث الموقع.[11]
- الاتصال الإلكتروني عبر الإنترنت: يمكن تفصيل عملية التفكيك عبر الإنترنت أو على بوابة الويب التي يمكن أن تعمل كمرجع للعاملين بالإضافة إلى إمكانية توصيلها عبر الواقع المعزز. علاوةً على ذلك، يمكن أن يوفر منصة مشتركة للعملاء يمكنها تعزيز نموذج الجذب بالإضافة إلى تعزيز الاقتصاد الدائري. سيكون هناك المزيد من الاحتمالات لتحديث المعلومات في الموقع باستخدام نموذج BIM بمساعدة وسيلة إلكترونية من خلال الحصول على تعليقات من العمال.[11]

كما يمكن أن يوفر استخدام نمذجة معلومات المباني (BIM) رسومات قياسية، ودائمة، وتعريفًا للعناصر، والوصلات. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يزود البيم محاكاة لتسلسل خطة التفكيك؛ نقاط التفكيك، وخطوات التفكيك، وما إلى ذلك، مما يسهل في المقابل عملية التفكيك.

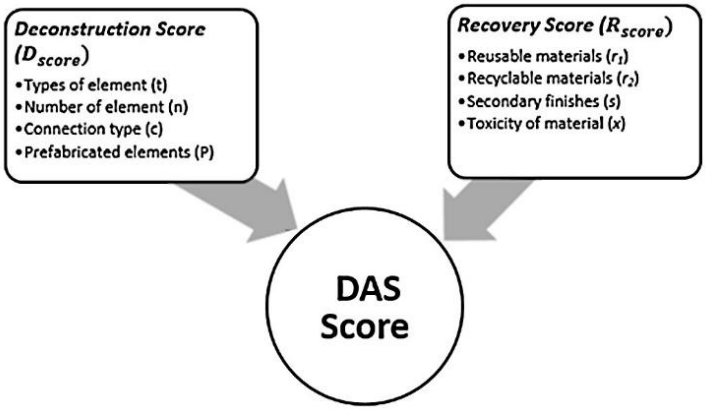
وبناءً على ذلك، فإن وجود خطة تفكيك مفصلة بالكامل من مراحل التصميم المبكرة يجب أن يؤثر على التفكيك في نهاية عمر الهيكل. ويجب مراعاة DfD في كل مرحلة من مراحل التصميم.

باستخدام BIM في عملية التصميم للتفكيك، يمكن تحسين كفاءة العملية وتقليل التكاليف وتحسين التنسيق بين الفرق المختلفة المعنية.

6. درجة تقييم قابلية التفكيك (DAS):

وهو نموذج لتقييم قابلية التفكيك يمكّن المصممين من تقدير امتداد المبنى القابل للتفكيك، حيث يصور مبادئ DFD التي تم التقاطها رياضياً في نموذج. وقد تم توسيع معلمات البناء في خصائص المكونات بما في ذلك قابلية إعادة التدوير، وإعادة الاستخدام، والسمية، والتجميع، والتشطيب، وسمات الوصلات/المفاصل. لذلك، يتم حساب درجة DAS للمبنى بناءً على المواصفات المرجحة من خلال النموذج الرياضي المطور باستخدام D_{score} (درجة التفكيك) و R_{score} (درجة الاسترداد). تعالج نتيجة D_{score} إمكانية تفكيك المبنى وتمثل R_{score} إمكانية استرداد المواد.[9]

يتضمن تطوير نظام تحليلات التفكيك (D-DAS)عملية استخدام نموذج نمذجة المعلومات لإنشاء أدوات دعم القرار من أجل الأداء الفعال لاستدامة المباني في نهاية العمر. الهدف الرئيسي من D-DAS هو ضمان اختيار المواد بكفاءة أثناء التصميم لتسهيل الاستخدام الفعال للمواد وتقليل النفايات الهالكة في البيئة المبنية. حيث أن استخدام المواد وإعادة استخدامها بكفاءة لتقليل إدخال مواد جديدة في العملية الاقتصادية هو الهدف الرئيسي للاقتصاد الدائري[2].



الشكل(1) يوضح مؤشرات درجة الاسترداد و درجة التفكيك.

7. استخدام تكنولوجيا نمذجة معلومات البناء في تقييم قابلية تفكيك المباني BIM-DAS:

يمكن دمج وحساب درجة قابلية تفكيك المباني DAS بالاعتماد على البيم عن طريق أحد برمجيات البيم وهو الريفيت باستخدام البرمجة المرئية (الداينمو).

حيث يساعد ذلك في تقييم درجة قابلية تفكيك أي مبنى عن طريق إدخال نموذج الداينمو لل DAS وربط جميع عناصر المبنى بالبارامترات المتعلقة بحساب DAS.

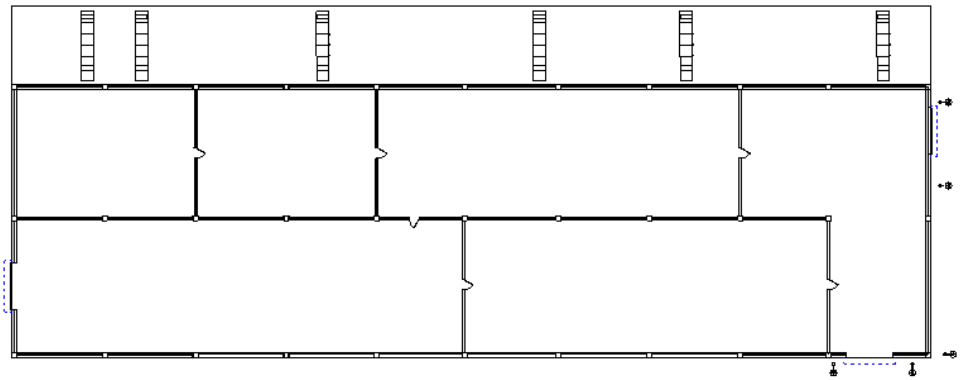
الفصل الثالث: التطبيق العملي

1. توصيف المشروع:

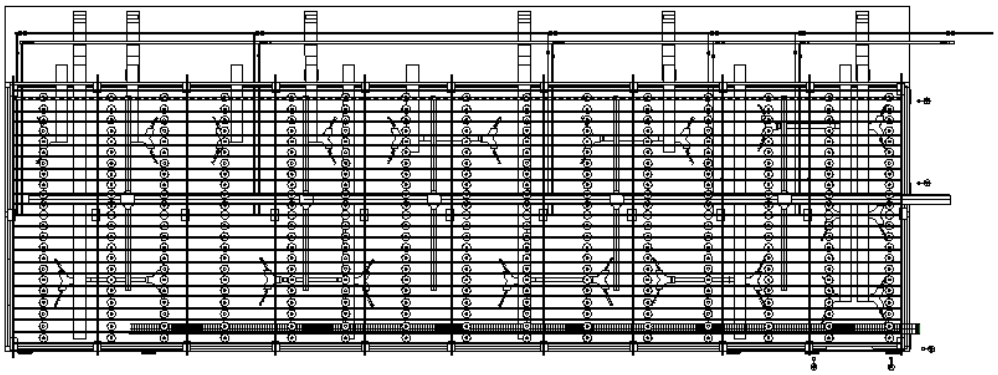
المشروع عبارة عن توسع معمل ابن الهيثم يقع في اللاذقية.

1.1. الوصف المعماري للمشروع:

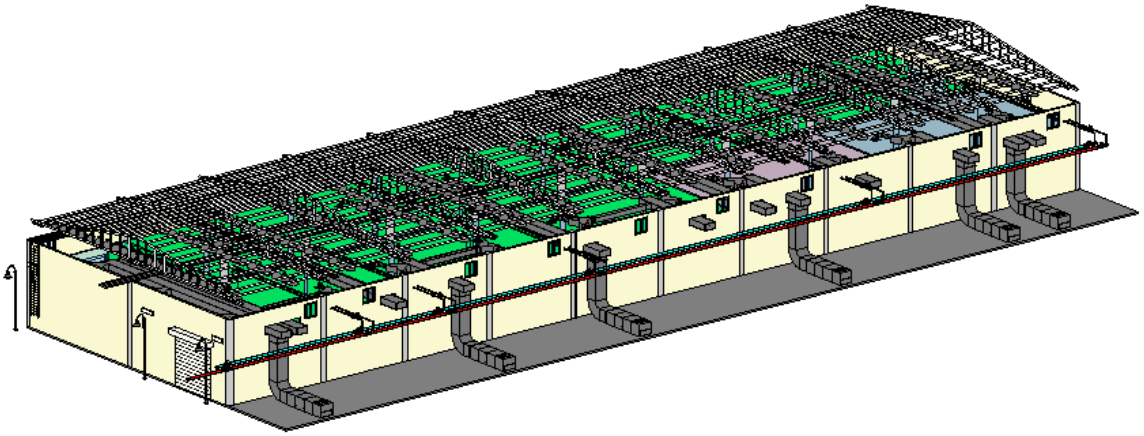
يتألف المشروع من طابق واحد حيث يحتوي على التجهيزات الميكانيكية والكهربائية والصحية. تبلغ مساحة المشروع $2688\ m^2$ و الارتفاع الطابقي 5 m و الارتفاع الكامل للمبنى 10.4 m .



الشكل(2) مسقط الطابق الأرضي



الشكل (3) مسقط يظهر كامل المبنى من الأعلى



الشكل (4) منظور للمبنى بأكمله

2. مؤشرات قابلية تفكيك المباني:

بالاعتماد على الدراسات المرجعية أوجدنا المؤشرات التي تؤثر على قابلية تفكيك المباني:

2.1. مؤشرات درجة التفكيك Dscore:

- نوع العناصر المستخدمة في المبنى t.
- عدد العناصر المعدنية n.
- نوع الوصلات المستخدمة C.
- العناصر مسبقة الصنع P.

2.2. مؤشرات درجة الاسترداد Rscore:

- المواد القابلة لإعادة الاستخدام R1.
- المواد القابلة لإعادة التدوير R2.
- التشطيبات الثانوية للعناصر Rs.
- المواد الخطرة Rx.

3. حساب قابلية تفكيك المباني DAS :

عن طريق القوانين التالية:

$$DAS = 0.5\ D_{score} + 0.5\ R_{score}$$

حيث أن أعلى مستوى من قابلية تفكيك المبنى هي DAS=1

3.1. حساب درجة التفكيك (Deconstruction Score (Dscore:

تحدد درجة D_{score} إلى أي مدى يمكن تفكيك المبنى لإعادة الاستخدام أو النقل.

يتم حساب Dscore عن طريق القانون الموضح أدناه:

$$D_{SCORE} = \frac{t_n + d_c + R_p}{3}$$

3.1.1. حساب نسبة نوع القسم للنظام الفرعي t_n : يتم حسابها عن طريق القانون:

$$t_n = \frac{t}{n}$$

حيث أن: t : عدد العناصر الفولاذية الملفوفة الساخنة hot rolled sections.

n : العدد الكلي للعناصر الفولاذية.

3.1.2. حساب نسبة الوصلات القابلة للفك dc:

$$d_c = \frac{C_B + C_F + C_I}{C_B + C_F + C_W + C_I}$$

حيث أن :

C_B: هي نسبة الوصلات (البراغي) الحاملة Bearing Type Connections. هذا النوع من البراغي يمكن إعادة استخدامه.

C_F: هي نسبة الوصلات (البراغي) من نوع الاحتكاك Friction Type Connections. هذه البراغي غير قابلة لإعادة الاستخدام.

C_I: هي نسبة الوصلات المبتكرة Innovative Connections.

C_W: هي نسبة اللحام Welding Type Connections.

3.1.3. حساب نسبة العناصر الجاهزة Rp.

3.2. حساب درجة الاسترداد (Recovery Score (Rscore:

تمثل سهولة استرداد المواد وإعادة الاستخدام بعد نهاية عمر المبنى. يتم حساب R_{score} عن طريق القانون الموضح أدناه:

$$R_{SCORE} = \frac{R_1 + R_2 + R_s + R_x}{4}$$

3.2.1. نسبة العناصر القابلة لإعادة الاستخدام R1: يتم حساب هذه النسبة عن طريق تقسيم عدد العناصر القابلة لإعادة الاستخدام على العدد الكلي للعناصر.

3.2.2. نسبة العناصر القابلة لإعادة التدوير R2: و ذلك عن طريق تقسيم عدد العناصر القابلة لإعادة التدوير على العدد الكلي للعناصر.

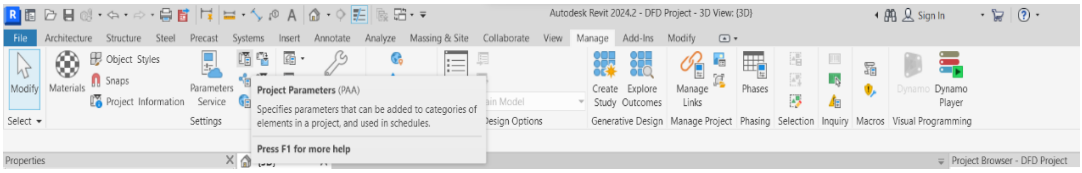
3.2.3. نسبة العناصر بدون تشطيب ثانوي Rs: عن طريق تقسيم عدد العناصر التي لا تحوي على تشطيب ثانوي على العدد الكلي للعناصر.

3.2.4. نسبة العناصر الغير سامة Rx: عن طريق تقسيم عدد العناصر الغير سامة على العدد الكلي للعناصر.

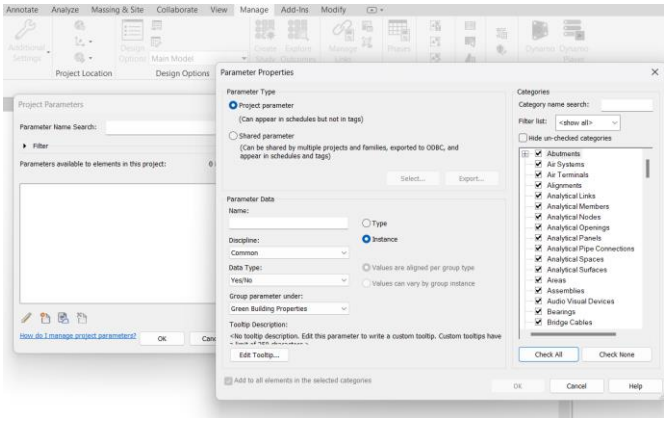
4. الدراسة العملية:

4.1. إدخال البارامترات لمجموعة من المؤشرات على الريفيت:

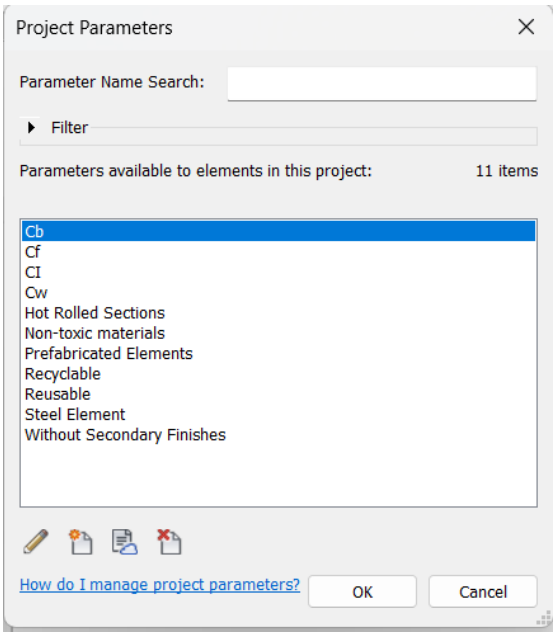
وذلك من قائمة Manage ثم Project Parameters كما هو موضح في الشكل(5) و (6).



الشكل (5) إضافة البارامترات من قائمة Manage

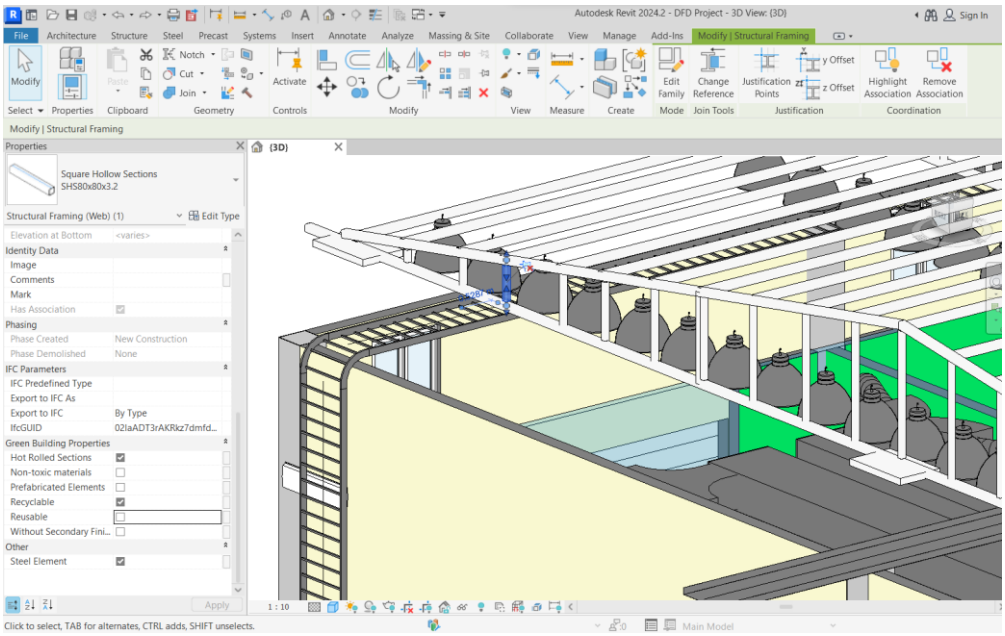


الشكل (6) إنشاء بارامترات جديدة



الشكل(7) البارامترات المستخدمة في المشروع

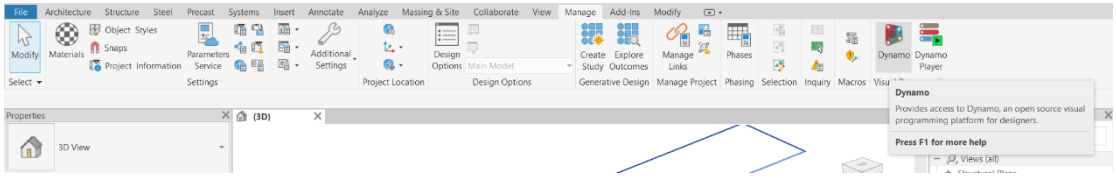
تم ربط جميع عناصر المشروع بالبارامترات الموافقة لها من قائمة properties كما هو موضح في الشكل (8).



الشكل (8) لقطة من برنامج الريفيت لإظهار البارامترات من قائمة الخصائص Properties

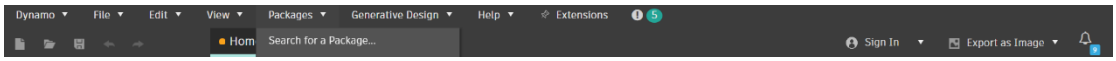
4.2. تطبيق البرمجة المرئية باستخدام الداينمو:

وذلك من قائمة Manage ثم Dynamo كما هو موضح في الشكل (9).



الشكل (9) لقطة لإظهار أمر الداينمو

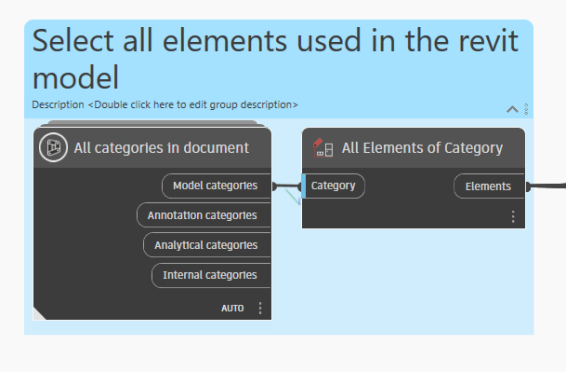
حيث نقوم بإضافة العقد من Library و لإدراج Packages إضافية في الداينمو يتم عن طريق قائمة Package ثم Search for a Package كما في الشكل (10):



الشكل (10) لقطة من الداينمو لإظهار كيفية إدراج Packages جديدة

4.2.1. تحديد كل عناصر المشروع:

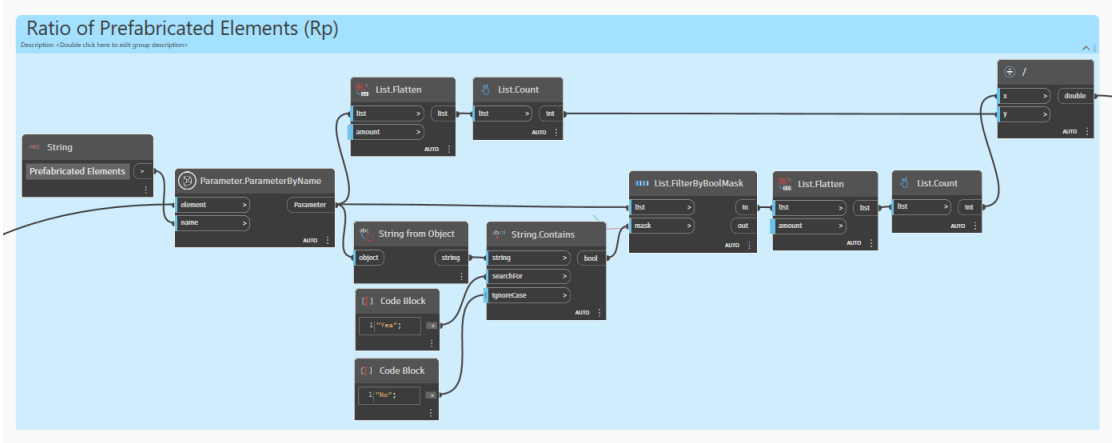
تم استخدام All categories in document ثم All Elements of Categories لتحديد كل العناصر. كما هو موضح في الشكل (11):



الشكل (11) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لتحديد كل عناصر المشروع

4.2.2. حساب نسبة العناصر الجاهزة Rp:

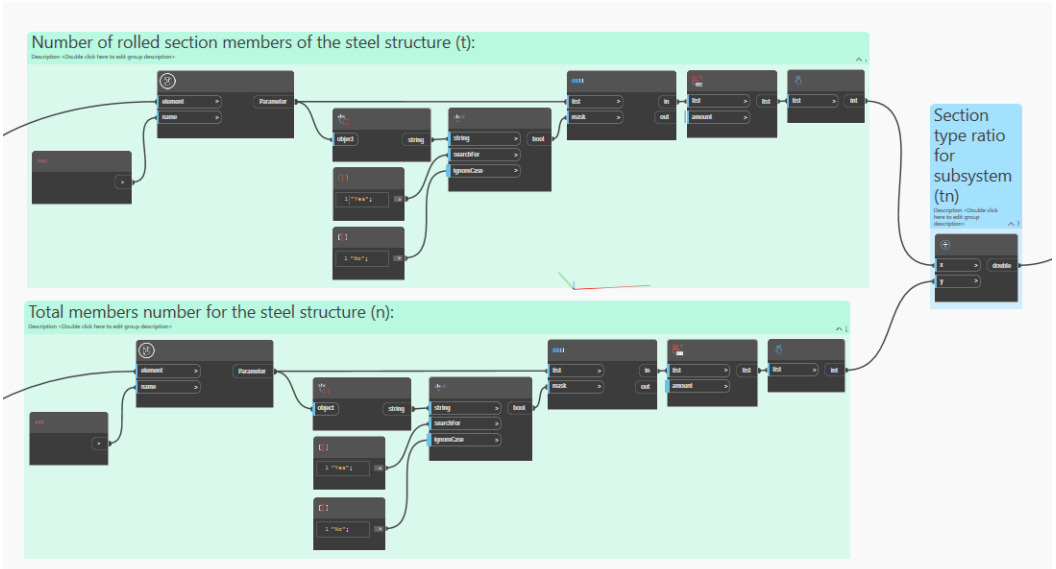
يتم حساب نسبة العناصر الجاهزة عن طريق فلترة عدد العناصر المربوطة ببرامتر Prefabricated Elements و تقسيمها على عدد كل عناصر المشروع كما هو موضح في الشكل أدناه (12):



الشكل (12) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر الجاهزة Rp

4.2.3. حساب نسبة نوع القسم للنظام الفرعي tn:

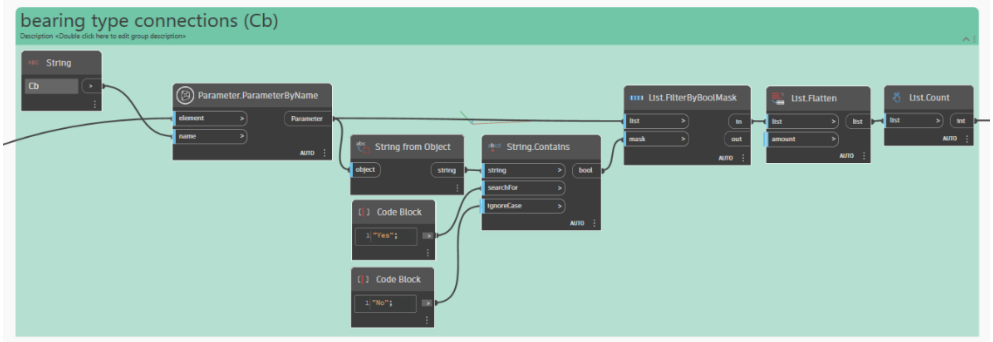
حيث تم حساب نسبة عدد العناصر الفولاذية الملفوفة الساخنة على العدد الكلي لعناصر البناء المعدنية. كما هو موضح في الشكل أدناه (13):



الشكل (13) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة نوع القسم في النظام الفرعي tn

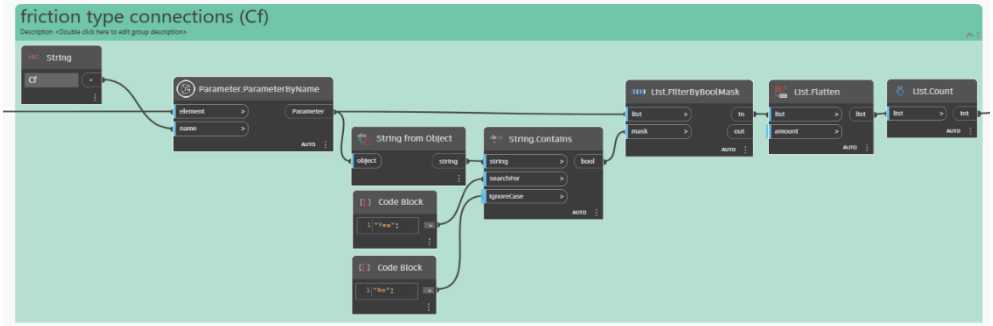
4.2.4. حساب نسبة الوصلات القابلة للفك dc: لحساب نسبة الوصلات القابلة للفك ،علينا حساب عدد جميع أنواع الوصلات المستخدمة، كما هو موضح في الشكل (18).

4.2.4.1. حساب عدد الوصلات الحاملة (C_B) Bearing type connections: يتم حساب عدد الوصلات الحاملة عن طريق فلترة عدد العناصر المربوطة ببرامتر C_B. كما هو موضح في الشكل أدناه (14):



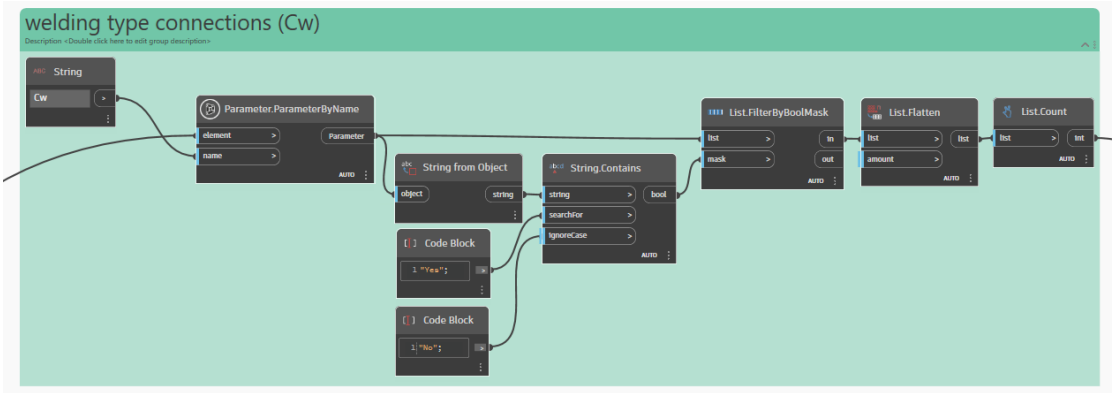
الشكل (14) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب عدد الوصلات الحاملة C_B

4.2.4.2. حساب عدد البراغي من نوع الاحتكاك Friction type connections (CF): يتم حساب عدد البراغي من نوع الاحتكاك عن طريق فلترة عدد العناصر المربوطة ببرامتر CF. كما هو موضح في الشكل (15):



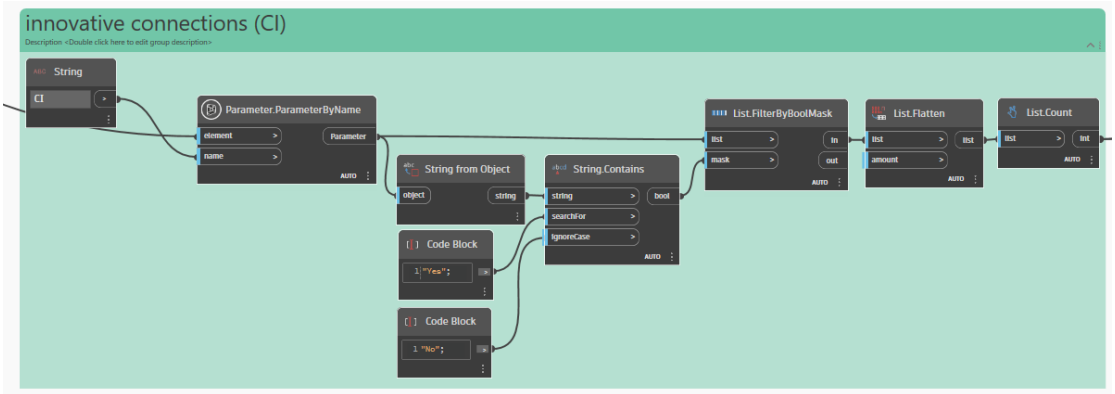
الشكل (15) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب عدد البراغي من نوع الاحتكاك C_F

4.2.4.3. حساب عدد الوصلات الملحومة Welding type connections (Cw): يتم حساب عدد الوصلات الملحومة عن طريق فلترة عدد العناصر المربوطة ببرامتر CW. كما هو موضح في الشكل (16):

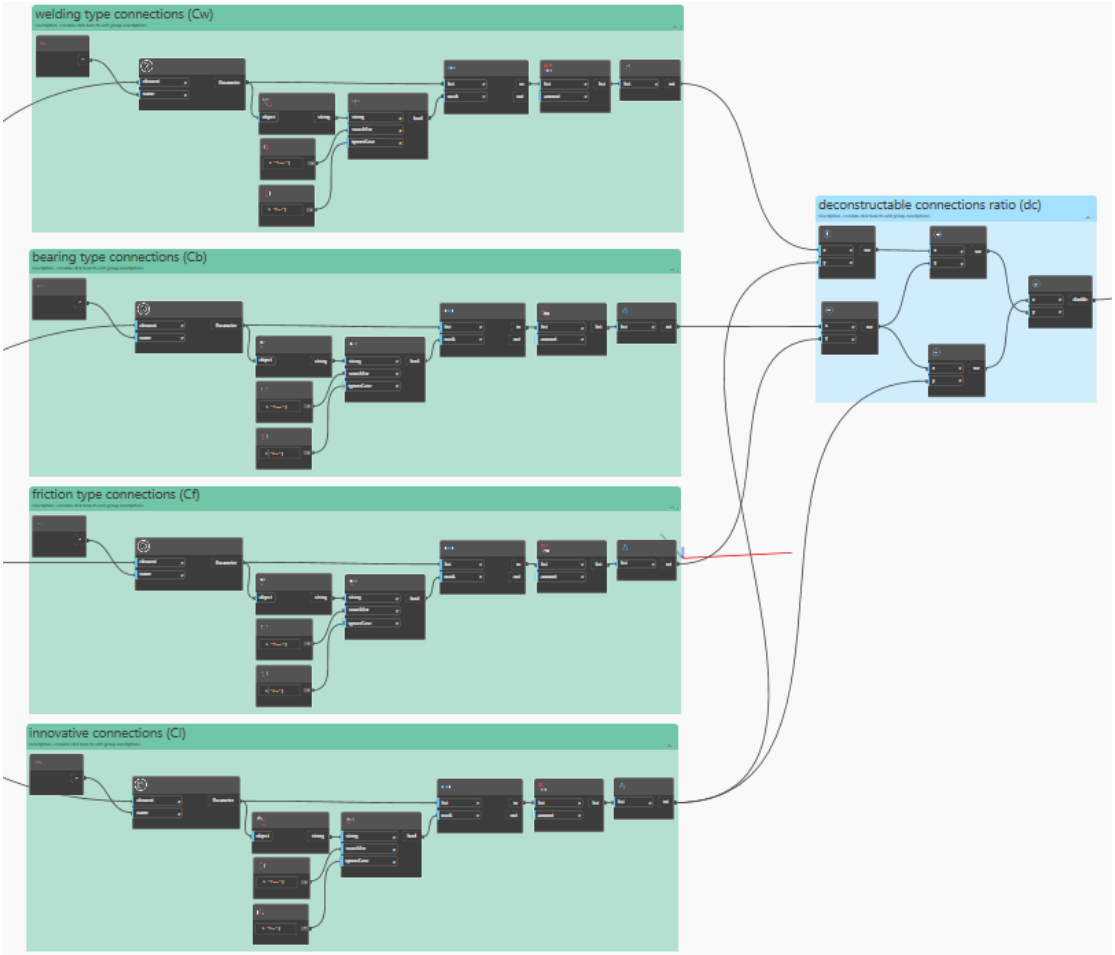


الشكل (16) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب عدد الوصلات الملحومة Cw

4.2.4.4. حساب عدد الوصلات المبتكرة Innovative type connections (CI): في هذا المشروع لم يتم استخدام وصلات مبتكرة و بالتالي فإن قيمة CI تساوي الصفر. كما هو موضح في الشكل (17):

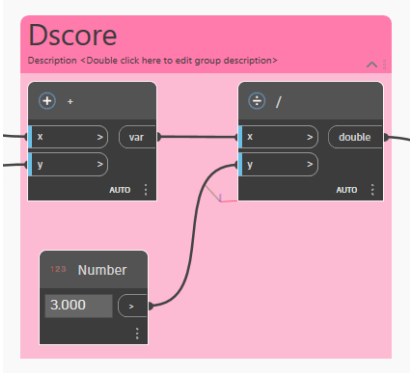


الشكل (17) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب عدد الوصلات المبتكرة CI



الشكل (18) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة الوصلات القابلة للفك dc

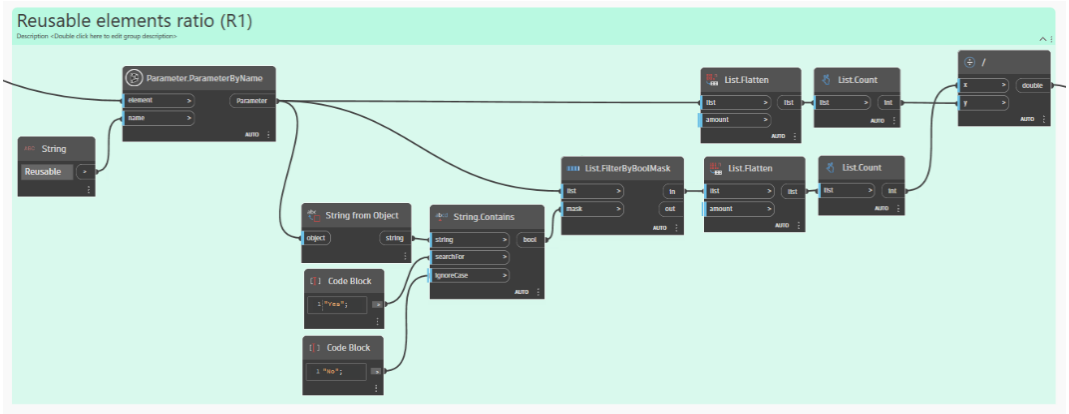
4.2.5. حساب درجة التفكيك Dscore: و ذلك عن طريق جمع قيم tn و Rp و dc و تقسيمهم على 3.
كما هو موضح في الشكل (19):



الشكل (19) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب درجة التفكيك Dscore

4.2.6. حساب نسبة العناصر القابلة لإعادة الاستخدام R1:

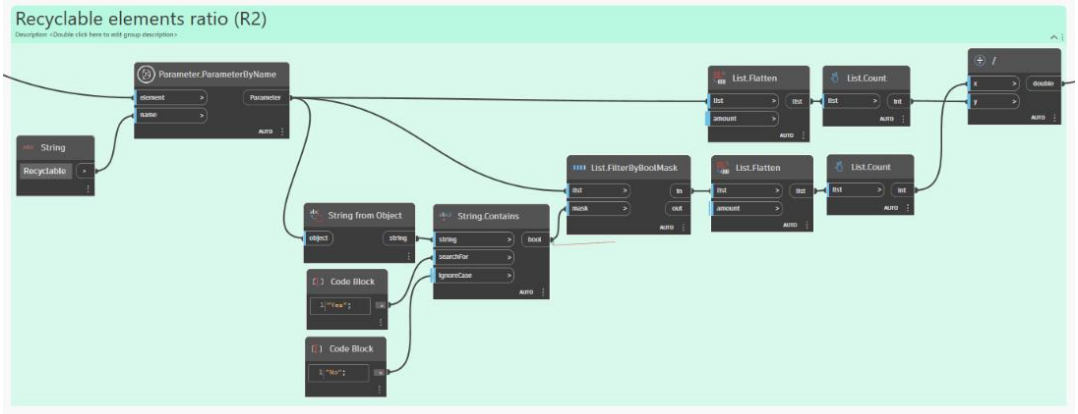
يتم حساب عدد العناصر القابلة لإعادة الاستخدام أي المربوطة ببرامتر Reusable و تقسيمها على عدد كل عناصر المشروع. كما هو موضح في الشكل (20):



الشكل (20) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر القابلة لإعادة الاستخدام R1

4.2.7. حساب نسبة العناصر القابلة لإعادة التدوير R2:

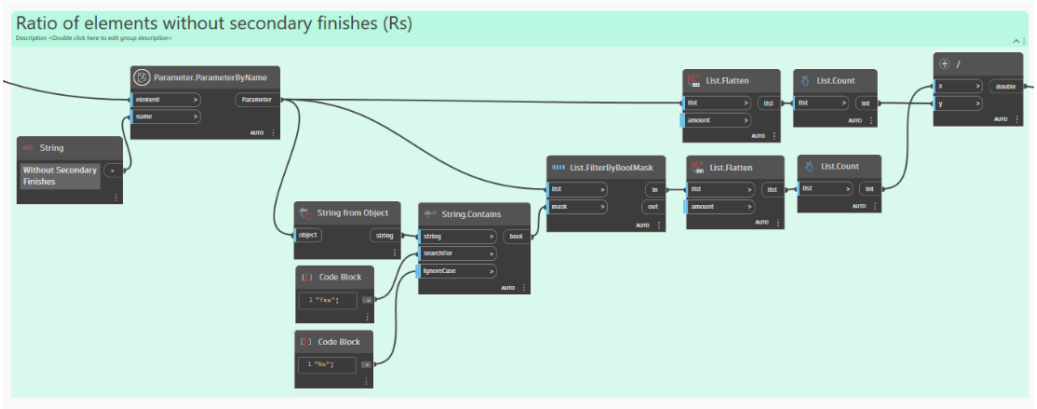
يتم حساب عدد العناصر القابلة لإعادة التدوير أي المربوطة ببرامتر Recyclabe و تقسيمها على عدد كل عناصر المشروع. كما هو موضح في الشكل (21):



الشكل (21) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر القابلة لإعادة التدوير R2

4.2.8. حساب نسبة العناصر بدون تشطيب ثانوي Rs:

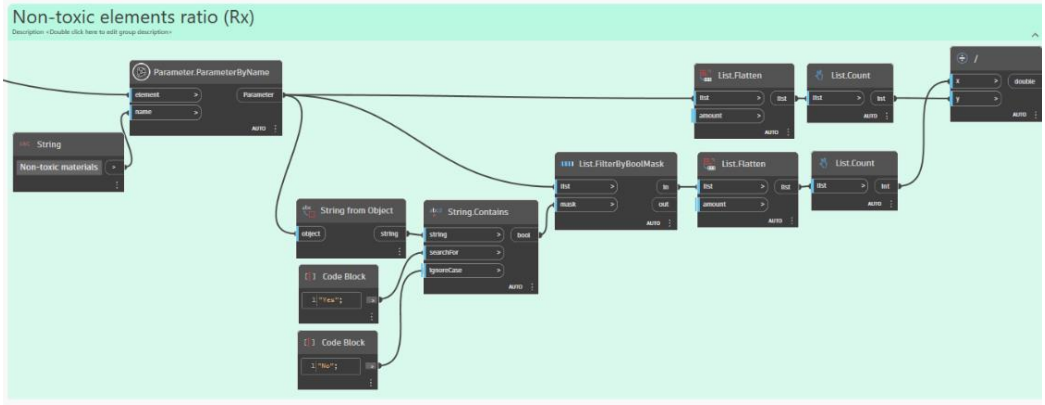
يتم حساب عدد العناصر بدون تشطيب ثانوي أي المربوطة ببرامتر Without secondary finishes و تقسيمها على عدد كل عناصر المشروع. كما هو موضح في الشكل (22):



الشكل (22) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر بدون تشطيب ثانوي Rs

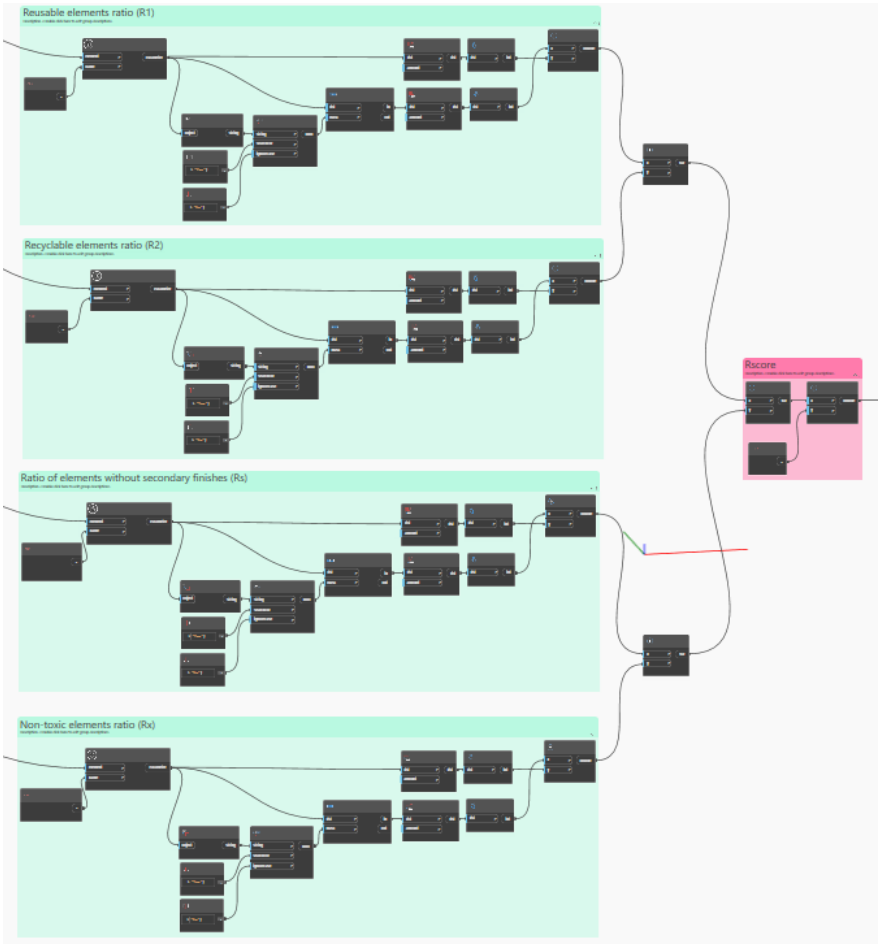
4.2.9. حساب نسبة العناصر الغير سامة Rx:

يتم حساب عدد العناصر غير السامة أي المربوطة ببرامتر Non-toxic materials و تقسيمها على عدد كل عناصر المشروع. كما هو موضح في الشكل (23):

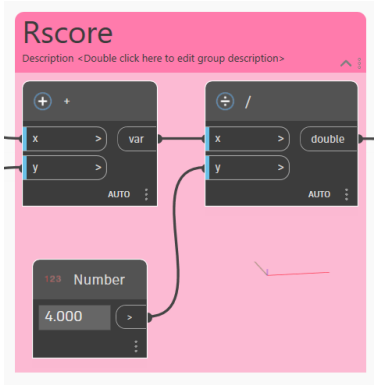


الشكل (23) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب نسبة العناصر الغير سامة Rx

4.2.10. حساب درجة الاسترداد Rscore: يتم حسابها عن طريق جمع قيم R1 و R2 و Rs و Rx و تقسيمها على 4. كما هو موضح في الشكل (24) و (25):

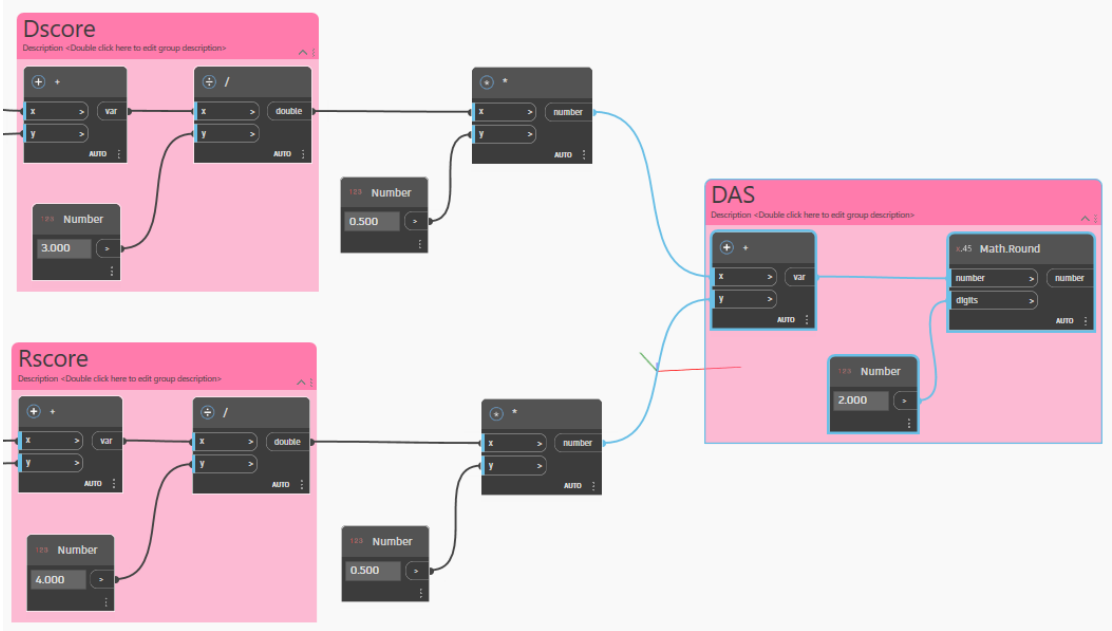


الشكل (24) لقطة للعقد المستخدمة لحساب R1، R2، Rs،Rx

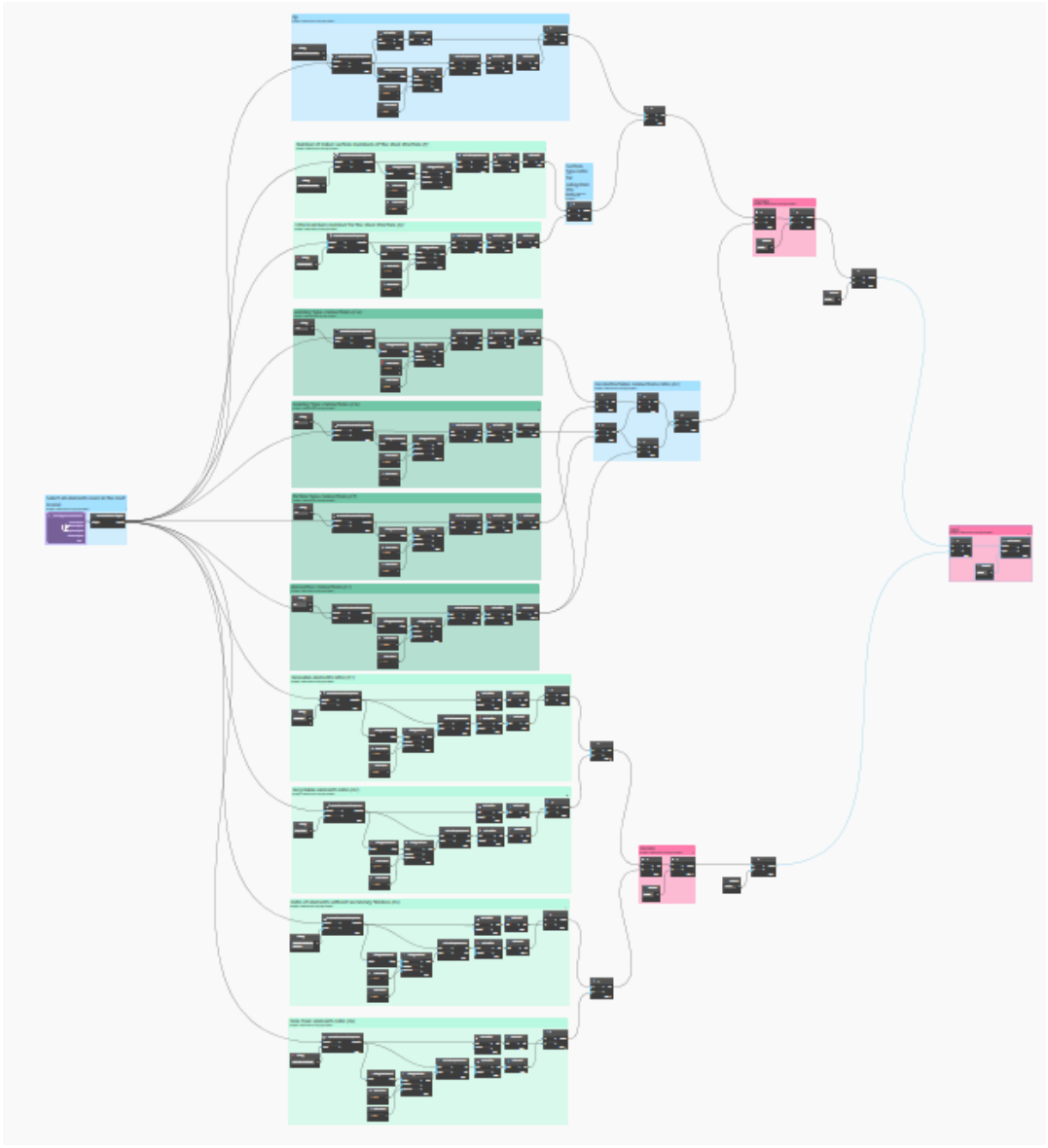


الشكل (25) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب درجة الاسترداد Rscore

4.2.11. حساب درجة قابلية تفكيك المبنى DAS: و ذلك عن طريق ضرب قيمة Dscore ب 0.5 و Rscore ب 0.5 و جمع القيمتين الناتجتين. كما هو موضح في الشكل(26):



الشكل (26) لقطة للعقد المستخدمة في الداينمو لحساب درجة قابلية تفكيك المبنى DAS



الشكل (27) لقطة لكل العقد المستخدمة في الداينمو لحساب درجة قابلية تفكيك المبنى DAS

النتائج:

تم تطبيق قانون DAS على 3 بدائل و هم :

1. البديل الأول: هو حالة الأساس حيث كانت الوصلات المستخدمة هي اللحام فقط.
2. البديل الثاني: تم إضافة البراغي لبعض الوصلات بدلاً من اللحام.
3. البديل الثالث: تم اختيار البديل الأفضل من بين البديلين السابقين و قمنا بتغيير المواد السامة إلى مواد آمنة و إضافة بعض البدائل الأخرى.

تم إظهار النتائج في الجدول التالي:

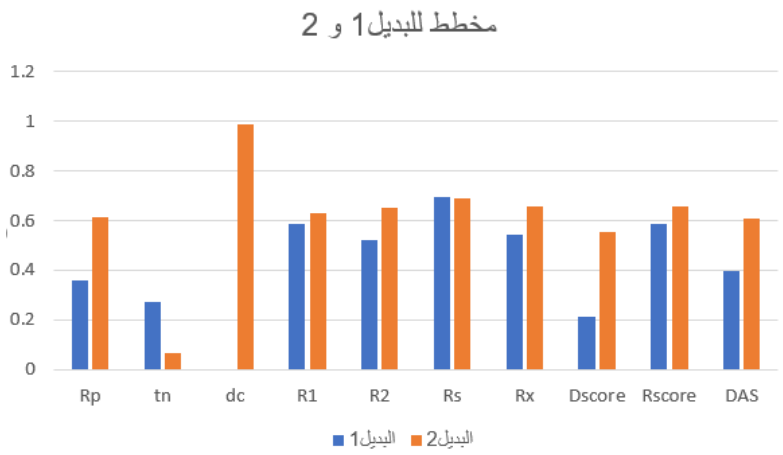
البديل	Rp	tn	dc	R1	R2	Rs	Rx	D_{score}	R_{score}	DAS
البديل1	0.36	0.27	0.00	0.589	0.521	0.696	0.545	0.21	0.588	0.399
البديل2	0.613	0.065	0.99	0.629	0.651	0.692	0.657	0.556	0.657	0.607

من مراجعة الدراسات السابقة وجدنا أن أعلى مستوى من قابلية تفكيك المبنى هي DAS=1 أي كلما كانت قيمة DAS أقرب لل 1 كلما كانت درجة قابلية تفكيك المبنى أكبر.

و من النتائج السابقة نلاحظ:

- في البديل الثاني: بإضافة البراغي ازدادت عدد عناصر المشروع الكلية و عدد العناصر الجاهزة و بالتالي ازدادت نسبة العناصر الجاهزة Rp بنسبة % 25.3 و نسبة الوصلات القابلة للفك dc بنسبة % 99.
- في البديل الثاني: نقصت نسبة نوع القسم للنظام الفرعي tn بنسبة 20.5% نتيجة ازدياد عدد العناصر المعدنية بسبب إضافة البراغي.
- في البديل الثاني: ازدادت نسبة العناصر القابلة لإعادة الاستخدام R1 بنسبة 4% (حيث أن البراغي الحاملة قابلة لإعادة الاستخدام) ونسبة العناصر القابلة لإعادة التدوير R2 بنسبة % 13 و العناصر الغير سامة Rx بنسبة % 11.2 و ذلك نتيجة ازدياد عدد عناصر المشروع الكلية و لأن البراغي قابلة لإعادة التدوير و بعضها قابل لإعادة الاستخدام و هي مصنوعة من مواد غير سامة.
- ازدادت درجة التفكيك Dscore في البديل الثاني (عند إضافة البراغي مع اللحام في بعض الوصلات) بنسبة 34.6% و درجة الاسترداد Rscore بنسبة 6.9%.

و بالتالي قيمة درجة قابلية تفكيك المبنى DAS هي أقل عند استخدام اللحام فقط في الوصلات و أعلى في حال استخدام البراغي مع اللحام حيث ازدادت بنسبة % 20.8 و بالتالي فإن البديل الأفضل هو البديل الثاني (اللحام مع البراغي). الشكل (28) يظهر نتائج البديل 1 و 2.



الشكل (28) مخطط للبديلين 1 و 2

في البديلين السابقين كانت الأنابيب المستخدمة في المبنى مصنوعة من التوتياء و مطلية بطلاء يحوي مادة الرصاص و مجاري الهواء و التجهيزات الميكانيكية معزولين بمادة الأسبستوس و هاتان المادتان تعتبران مادتان خطرتان على المدى البعيد، كما كانت الأبواب و النوافذ مصنوعة من الخشب و بعض الجدران الخارجية من البلوك.

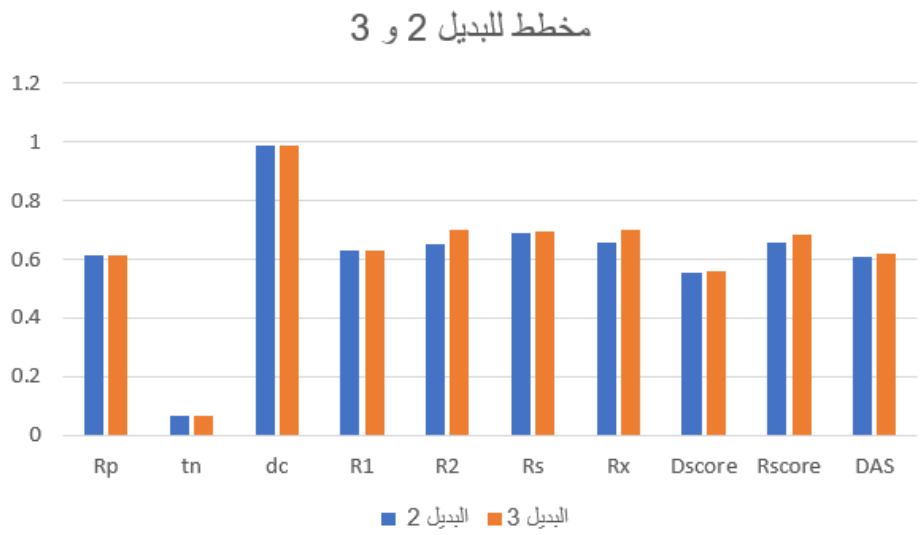
بالنسبة للبديل الثالث: قمنا باختيار البديل الأفضل من بين البديلين السابقين (و هو البديل الثاني) و استبدلنا كل من مادة الطلاء الحاوية على الرصاص بمادة البولي ايتيلين و عازل الأسبستوس بمادة بولي يوريثان و هما مادتين غير سامتين و آمنتين كما قمنا باستبدال الأبواب و النوافذ الخشبية بأبواب و نوافذ من الألمنيوم و الجدران الخارجية المصنوعة من البلوك بجدران فولاذية، وكانت نتيجة البديل الثالث ما يلي:

DAS	R_{score}	D_{score}	Rx	Rs	R2	R1	dc	tn	Rp	البديل
0.607	0.657	0.556	0.657	0.692	0.651	0.629	0.99	0.065	0.613	البديل 2
0.62	0.682	0.557	0.703	0.695	0.703	0.629	0.99	0.064	0.616	البديل 3

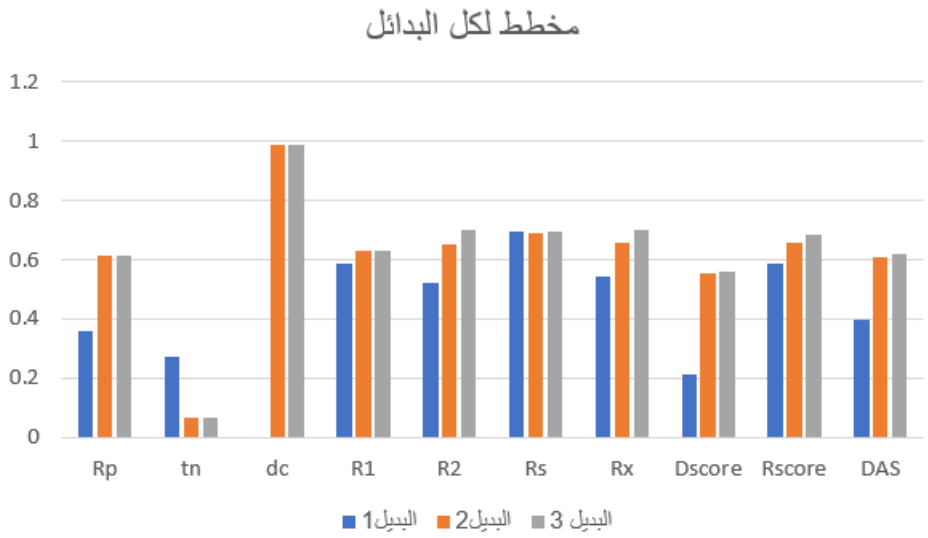
بالمقارنة بين البديل الثاني و البديل الثالث نلاحظ أن:

- في البديل الثالث: نسبة العناصر مسبقة الصنع Rp ارتفعت بنسبة % 0.3 نتيجة استبدال جدران البلوك الخارجية بجدران معدنية.
- في البديل الثالث: نقصت نسبة نوع القسم للنظام الفرعي tn بنسبة % 0.1 نتيجة ازدياد عدد العناصر المعدنية وذلك عند استبدال النوافذ و الأبواب و الجدران الخارجية بالفولاذ.
- في البديل الثالث: نسبة العناصر القابلة لإعادة التدوير R2 قد ازدادت بنسبة % 5.2 و ذلك نتيجة استخدام الفولاذ في جميع الجدران و النوافذ و الأبواب نظراً لقابلية الفولاذ الكبيرة لإعادة التدوير.
- في البديل الثالث: ازدادت نسبة العناصر بدون تشطيب ثانوي Rs بنسبة % 0.3 نتيجة استخدام أبواب و نوافذ من الألمنيوم ليس لها تشطيب ثانوي.
- في البديل الثالث: نسبة المواد الغير السامة Rx قد ازدادت بنسبة % 4.6 نتيجة استبدال مادة الطلاء الحاوية على الرصاص بالبولي ايتيلين و عازل الأسبستوس بمادة بولي يوريثان.
- في البديل الثالث: ازدادت كل من درجة التفكيك Dscore بنسبة % 0.1 و درجة الاسترداد Rscore بنسبة % 2.5.

و بالتالي قد ازدادت قيمة قابلية تفكيك المبنى DAS بنسبة % 1.3 في البديل الثالث و بالتالي البديل الأمثل هو البديل الثالث. الشكل (29) يظهر نتائج البديلين 2 و 3.



الشكل (29) مخطط للبديلين 2 و 3



الشكل (30) مخطط لكل البدائل 1 و 2 و 3

التوصيات:

في ضوء الدراسة السابقة نخلص إلى التوصيات التالية:

- التشجيع على الاعتماد على الأبنية المعدنية في التصاميم نظراً لقابليتها الكبيرة لإعادة التدوير و الاستخدام و بالتالي قابليتها للتفكيك.
- الاعتماد على البراغي في الوصلات و تجنب استخدام اللحام قدر المستطاع بسبب صعوبة فصل المكونات الملحومة و قيمة درجة قابلية تفكيك المباني التي تحوي على براغي أكبر من التي تحوي على لحام فقط.
- استخدام المواد الغير سامة و استخدام مواد صديقة للبيئة و ذلك لتأثيرها على إعادة تدوير المواد و درجة قابلية تفكيك المباني.

كما يجب الحث على نشر و تطبيق مبادئ و أفكار التصميم للتفكيك نظراً لدوره الكبير في الاستدامة و ذلك عن طريق:

- إيجاد تشريعات حكومية للتصميم من أجل التفكيك.
- إيجاد سوق كبير للمكونات المستعادة و نظام توحيد وتصنيف للمواد التي تم إنقاذها، و إيجاد نظام لتبادل المعلومات للمواد التي تم إنقاذها.
- تدريب المصممين والبناة والعاملين على ممارسات التصميم بغرض التفكيك.

المراجع و المصادر:

1. المراجع الأجنبية:

[1] A. Basta, M. H. Serror, and M. Marzouk, 'A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability', Autom Constr, vol. 111, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2019.103064.

[2] L. A. Akanbi et al., 'Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy', J Clean Prod, vol. 223, pp. 386–396, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.172.

[3] O. O. Akinade et al., 'BIM-based deconstruction tool: Towards essential functionalities', International Journal of Sustainable Built Environment, vol. 6, no. 1, pp. 260–271, Jun. 2017, doi: 10.1016/J.IJSBE.2017.01.002.

[4] O. O. Akinade et al., 'Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS)', Resour Conserv Recycl, vol. 105, pp. 167–176, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2015.10.018.

[5] B. Guy, 'Design for Deconstruction and Materials Reuse'.

[6] Crowther, 'DESIGN FOR DISASSEMBLY-THEMES AND PRINCIPLES Author(s): Philip Crowther Source: Environment Design Guide , DES 31: DESIGN FOR DISASSEMBLY-THEMES AND PRINCIPLES (AUGUST 2005), pp. 1-7', doi: 10.2307/26149108.

[7] P. Crowther, 'DEVELOPING AN INCLUSIVE MODEL FOR DESIGN FOR DECONSTRUCTION'.

[8] K. County Solid Waste Division, 'DfD Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building Foreword and Acknowledgements'.

[9] Asadzadeh Elham, 'Application of BIM in circular construction Design for Deconstruction', 2021.

[10] C. Mercado Siles, 'BIM-based Framework for Deconstructability Assessment of Steel Structures', Universidade do Minho Escola de Engenharia, 2020.

[11] R. B. Kumar, 'Application of Lean Techniques and BIM in Building Deconstruction', Metropolia UAS and HTW Berlin , 2021.

2. المراجع العربية:

[12] سليم. عمر، الطريق إلى البيم، موقع BIM Arabia.