

الأثر البيئي لإعادة استخدام مخلفات هدم الزلازل في

محافظة اللاذقية

الباحثة: د. فاطمة سلمان

المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين

ملخص

إن إنتاج الركام المعاد تدويره من نفايات البناء والهدم الناتجة عن الزلازل واستخدامه كمواد خام في إنتاج الببتون سيكون فعالاً لإدارة النفايات العاجلة بعد الكوارث وتقليل التأثير البيئي لإنتاج الببتون عن طريق تقليل استخدام الموارد الطبيعية. تم في هذه الدراسة استخدام طريقة تقييم دورة الحياة (LCA) لفحص الآثار البيئية للببتون المنتج باستخدام الركام المعاد تدويره (RA) المشتق من مخلفات البناء والهدم (CDW) للمباني المهتمة بعد الزلزال الذي ضرب مدينة اللاذقية. بالإضافة إلى ذلك، تم تقييم العواقب البيئية لحجم متساو من الببتون المنتج في نفس الموقع باستخدام الركام الطبيعي (NA). بالنسبة إلى LCA لهذين النوعين من الببتون، تم استخدام برنامج openLCA وإجراء تقييم دورة الحياة (LCA) مع الأخذ في الاعتبار السمية البيئية الأرضية، وتغير المناخ، وتحمض الأرض، وتكوين الأوكسدة الكيميائية الضوئية، والسمية البيئية البحرية، والسمية البشرية، والسمية البيئية للمياه العذبة، واستنفاد الأوزون، وتكوين المواد الجسيمية، والتخثث البحري، وعوامل تأثير الإشعاع المؤين. وتظهر النتائج أن الأسمنت له أكبر تأثير على البيئة حتى الآن.

الكلمات المفتاحية: تقييم دورة الحياة، الأثر البيئي، الركام المدور، الببتون من ركام معاد تدويرها، الببتون من ركام طبيعي.

1 دكتور - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

The Environmental Impact of Reusing Post-Earthquake Demolition Waste in Lattakia

* Dr. Fatma Slman

Abstract

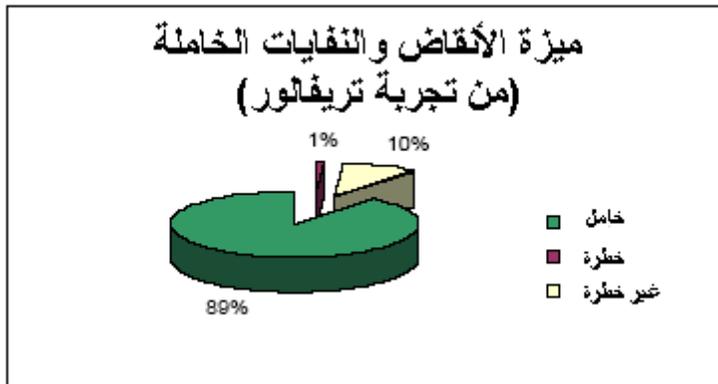
Producing recycled aggregate from construction and demolition waste generated by earthquakes and using it as raw material in concrete production would be effective for urgent waste management after disasters and to reduce the environmental impact of concrete production by decreasing resource use. In this study, the life cycle assessment (LCA) method was used to examine the environmental implications of concrete produced using recycled aggregates (RA) derived from construction and demolition waste (CDW) of buildings demolished after the earthquake that struck Lattakia. In addition, the environmental consequences of an equal volume of concrete produced in the same location utilizing natural aggregates (NA) were assessed. For the LCA of these two types of concrete, openLCA software. LCA was conducted considering terrestrial ecotoxicity, climate change, terrestrial acidification, photochemical oxidant formation, marine ecotoxicity, human toxicity, freshwater ecotoxicity, ozone depletion, particulate matter formation, marine eutrophication, and ionizing radiation impact factors. The results show that cement has the highest impact on the environment by far.

Key words: Life cycle assessment, Environmental impact, Recycled aggregates, Recycled aggregate concrete, Natural aggregate concrete.

* Ph.D. in the department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

1. مقدمة

تعرف نفايات البناء والهدم (CDW) على أنها المخلفات الناتجة من عمليات بناء وتجديد الأبنية، أو هدم أي منشأة بما فيها الأبنية والطرق والجسور، أو المتهدمة بفعل الحرب والكوارث الطبيعية، بما في ذلك النفايات الخاملة والنفايات غير الخطرة والنفايات الخطرة. يتكون البناء النموذجي في المتوسط من 71.4 % من البيتون والسيراميك، و2.01 % من المعدن، و2.01 % من الخشب، و2 % من البلاستيك، و2 % من الورق، و1 % من الزجاج، و1.3 % من المواد الأخرى، كما أن نوع الهياكل الموجودة يؤثر على نوع وكمية النفايات الناتجة، ذلك وفقاً لوكالة حماية البيئة الأمريكية [1]. وتختلف صفات مخلفات البناء والهدم في سورية حسب خطورتها وفق ما جاء في دراسة تريفالور، حيث تشكل النفايات الخاملة كالحجارة والبيتون العادي والبلوك ما نسبته 89 % من إجمالي هذه النفايات، بينما تشكل النفايات غير الخطرة كالحديد والالمنيوم والبلاستيك والخشب نسبة 10 %، أم النسبة 1 % المتبقية الخطرة كالدھانات والاسبستوس كما يظهر في الشكل 1 [2].



الشكل (1) التركيب النوعي لمخلفات الهدم والبناء في سورية [2].

إحدى الدراسات قاموا بتقدير كمية المواد في هدم منزل بمساحة معيشة (50-100م²) وحسبت احتمالية تشكل مخلفات بيتونية قدرها 56 طناً أي 40 % من وزن المنزل وهي النسبة الأكبر من حيث الوزن مقارنة بالمواد الأخرى[3] . وأشارت دراسة أخرى إلى أن كمية البيتون التي يمكن الحصول عليها من عملية الهدم ستكون حوالي 40% في عمله حول إعادة تدوير البيتون الإجمالي [4]. وقام آخرون بدراسة تركيبات مختلفة من (CDW) ووجدوا أن متوسط نسب البيتون والحجارة كان حوالي 22 % و 82 % بالوزن، على التوالي[5] . كما توصل بعضهم إلى أن حوالي 50 % من نفايات البناء والهدم في هونغ كونغ تتكون من نفايات البيتون، ونظراً للكمية الكبيرة من البيتون في CDW فإن لديها إمكانات كبيرة لإنتاج الركام المعاد تدويره (RA). حيث أن استخدام البيتون في CDW لإنتاج RA يحافظ على الموارد، ويتطلب مساحة أقل لطمر النفايات، وقد يقلل من تكاليف إدارة النفايات، ويؤدي إلى فرص عمل جديدة، إعادة التدوير هي في كثير من الأحيان البديل الأفضل [6]. بالنظر إلى الكمية الهائلة من الركام في البيتون (حوالي 70-80 من الحجم) فإن إنتاج البيتون باستخدام RA يسهم بشكل كبير في القضاء على المشكلات البيئية التي يقودها الإنتاج الكلي وطمر النفايات الناتجة عن إزالة النفايات. وجدير بالذكر أن الزلازل قد تؤدي إلى توليد ما يصل إلى 15 مرة أكثر من متوسط إنتاج CDW السنوي في المنطقة المتضررة من الزلزال [7].

وفي سوريا تأثرت أربع محافظات بالزلزال الذي ضرب تركيا في السادس من شباط 2023 وكان الأثر الأكبر للضرر في محافظة اللاذقية حيث هدم حوالي 1000 مبنى بالكامل عقب الزلزال في المحافظة وريفها وحوالي 2000 مبنى بحاجة للهدم أو إعادة الترميم الكلي أو الجزئي

وتشير الإحصائيات أنه في المرحلة الأولى نتج (17300m³) من النفايات في مدينة اللاذقية.

وأما المرحلة الثانية ($15000m^3$) في مزار القطرية و($3500m^3$) في سظامو جميعها رحلت إلى مكب قاسيه.

أما في مدينة جبلة فكانت كميته النفايات الناتجة ($12000m^3$) جمعت ضمن عقار تابع لبلدية جبلة [8,9].

ومع ذلك، فإن استخدام مطامر النفايات الصلبة كمكان لدفن نفايات الهدم والبناء يؤدي إلى تأثيرات بيئية مختلفة، مثل انخفاض سعة مطامر النفايات، وزيادة استهلاك موارد المواد الخام، وتلوث مطامر النفايات، وزيادة آثار الكربون، وزيادة استخدام الطاقة الناجمة عن استخدام موارد مواد النقل. وبالتالي ينبغي أن يكون البديل الأخير لعلاج CDW [10].

بصرف النظر عن فقدان الأراضي واستهلاك الموارد الناجم عن دفن النفايات، فإن RAC والبيتون الإجمالي المكون من مواد طبيعية (NAC) لهما تأثيرات بيئية قريبة من بعضها البعض [11]. ومع ذلك، في كثير من الحالات، يؤدي RA إلى تأثير بيئي أقل بسبب مسافة النقل الأقصر مقارنة بالركام الطبيعي NA [12].

لدى RAC أيضاً بعض العيوب مقارنة بالبيتونية الإجمالية الطبيعية. الأهم من ذلك، أن الخصائص الميكانيكية لـ RAC أقل من تلك الخاصة بالبيتون الطبيعي، وللتعويض عن هذه الخسارة، تتم إضافة كمية إضافية من الأسمنت إلى مزيج RAC. وهذا يزيد من التأثير البيئي للمادة [13].

لتقييم تأثير RAC على نطاق واسع على البيئة، يتم استخدام طريقة تقييم دورة الحياة (LCA). وهو بروتوكول يستخدم لتحليل الأثر البيئي لمنتج أو نظام [14,15].

تبدأ التأثيرات البيئية للمادة خلال دورة حياتها باستخراج المواد الخام وتستمر خلال الإنتاج والاستخدام والمعالجة والتخلص من النفايات. ثم تكرر الدورة نفسها من خلال إعادة تدوير وإعادة استخدام مواد النفايات [16]. في العديد من الحالات، تم استخدام LCA لتقدير التأثيرات البيئية والاقتصادية وذكروا أن الأسمنت يقدم أعلى مساهمة في التأثير ل RAC [17]. قام برادان وآخرون بمقارنة تأثيرات NA و RA وذكروا أن الأسمنت يقدم أعلى مساهمة في التأثير البيئي للبيتون، والنقل الكلي هو ثاني أكبر مساهم. وذكروا أيضاً أن تأثير RAC على البيئة أقل من تأثير NAC بسبب خطوة الإنتاج الكلي. قامت دراسة بتقدير الآثار البيئية والاقتصادية لمختلف خيارات إدارة أضرار التخلص من الأضرار من خلال اعتماد طريقة LCA [18]. وأشاروا إلى أن استخدام نفايات CDW في إنتاج البيتون بدلاً من NA يوفر أعلى الفوائد الاقتصادية والبيئية [19]. وتمت مقارنة نتائج تحليل LCA لكل من RA و NA وأكدوا على أهمية موقع منشأة إنتاج RA. ووجدوا أن RA الذي يتم إنتاجه في منشآت تبعد أقل من 20 كيلومتراً عن مصنع إعادة التدوير له تأثير بيئي أقل [20]. وبمقارنة التأثيرات البيئية وتكاليف الطرق البديلة لإنتاج أنواع البيتون التي تحتوي على NA أو RA باستخدام نهج LCA وذكروا أن المعيار الاقتصادي الأكثر أهمية الذي يحدد ما إذا كان سيتم استخدام NA أو RA هو مسافة النقل. أظهرت النتائج أن الخيار الأكثر فعالية من حيث التكلفة والصديق للبيئة هو استخدام RA المنتج في مصنع CDW [21].

كما ذكر أنه نتيجة لزلزال وبتشوان، تم إنشاء الكثير من الحطام الذي لا يمكن طمره. ولذلك، فإن إعادة تدوير الركام أمر بالغ الأهمية لإدارة النفايات بعد الزلزال بشكل فعال. وأشاروا أيضاً إلى أن إنتاج الركام المعاد تدويره من حطام زلزال وبتشوان يساهم في التقدم في تقنيات إعادة تدوير النفايات بعد الكوارث المستخدمة في الصين ويوفر فوائد بيئية [22].

بالتحقيق في فوائد إنتاج RA باستخدام حطام الزلزال الذي ضرب أثينا في عام 1999 أشاروا إلى أن إنتاج RA له فوائد مالية كبيرة، ويتجنب الإفراط في استخدام مساحة مطامر النفايات، ويوفر الموارد [23]. وبالتحقيق في إمكانية استخدام المواد المشعة مجموع النفايات الملوثة التي تم الحصول عليها من حطام محطة فوكوشيما النووية التي دمرها زلزال شرق اليابان الكبير في عام 2011 في بناء هياكل الموائى. وقاموا بتحليل الخواص الميكانيكية وقابلية التشغيل ومستوى الإشعاع للركام المعاد تدويره الذي تم الحصول عليه من منطقة الكارثة. وذكروا أن الركام المعاد تدويرها الذي تم الحصول عليه من المناطق المنكوبة بالزلازل يمكن استخدامه في إنشاءات الموائى ما لم يكن مستوى الإشعاع مرتفعاً جداً، ويقلل التكلفة إلى حوالي 30% [24]. وتحليل الخواص الميكانيكية والتكلفة والآثار البيئية لاستخدام الركام المعاد تدويره الذي تم جمعه من منطقة الحطام لزلزال Elazığ في عام 2020 في إنتاج البيتون أنتجوا عينات بيتونية مختلفة باستخدام الركام المعاد تدويره فقط وخلقوا سيناريوهات مختلفة للتحليل البيئي والاقتصادي. وفقاً للنتائج التي توصلوا إليها، فإن قوة الضغط للخلائط البيتونية المعاد تدويرها تتراوح بين (10-50 MPa)، كما أن النقل له أهمية قصوى بالنسبة لاستهلاك الطاقة ومعايير الاحتباس الحراري المحتملة. وأيضاً فإن تكاليف إنتاج NAC أقل من RAC [24]. وبدراسة التأثير البيئي والخواص الميكانيكية لـ RA وجدوا أن خصائص الملاط الملتصق هي العامل الأكثر أهمية الذي يحدد الخواص الميكانيكية لـ RA، ووفقاً لتقييم دورة الحياة الذي تم إجراؤه للتأثير البيئي لـ RA فإن استبدال RA بـ NA في الخلطات البيتونية يوفر انبعاثات كربون أقل بنسبة 58% تقريباً [25].

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأثر البيئي لاستخدام الركام المعاد تدويره في منطقة جمع الحطام الذي تم الحصول عليه من حطام الزلزال كركام في إنتاج البيتون. ولهذا تم إجراء دراسة LCA للبيتون المنتج باستخدام RA، التي تم الحصول عليها من CDW

والتي تكونت من المباني التي انهارت بسبب الزلزال في منطقة مختارة. بعد ذلك، تم أيضاً تقييم البيتون المنتج في نفس المنطقة باستخدام نفس الكمية من الركام الطبيعي وفقاً لـ LCA. وبشكل مختلف عن الدراسات السابقة، في حين أن هناك منطقة لجمع الحطام في سيناريو إعادة تدوير النفايات البيتونية الناتجة عن الزلزال، في هذه الدراسة، لا توجد منشأة لإعادة التدوير في المنطقة. وقد استلزم ذلك استخدام الكسارات المتنقلة ومعدات البناء الإضافية للفصل. لذلك، سيساعد على فهم التأثير البيئي لإنتاج RA باستخدام حطام الزلازل في منطقة الدراسة وفي المناطق التي لا يوجد فيها مصنع لإعادة تدوير CDW، وسيثبت إمكانية إنتاج RA في المناطق التي لا يوجد بها مصنع إعادة تدوير ثابت بالقرب من منطقة الزلزال. في حين أن هناك منطقة لجمع الحطام في سيناريو إعادة تدوير نفايات البيتون، والتي يُفترض أنها نتيجة للزلزال في هذه الدراسة، ومع ذلك، نظراً لأن منشأة إعادة تدوير النفايات البيتونية الثابتة تخلق ضوضاء ونفايات أقل مع مجموعة متنوعة من أحجام الركام أكثر من الكسارات المتنقلة، فإنها تضمن أن يتم تنفيذ عمليات التجميع والتخزين والفرز والسحق والفرز بعد عمليات التكسير بكفاءة أعلى على الرغم من ارتفاع تكلفة الاستثمار الأولي [26]. ولذلك فإن وجود مصنع لإعادة تدوير البيتون الثابت في البلدان التي يتم فيها تنفيذ أنشطة إنتاج البيتون والبناء والهدم بشكل مكثف، مما يتسبب في نفايات إنتاج البيتون، له أهمية كبيرة في تقليل التأثير البيئي لإعادة تدوير البيتون. ونظراً لأن سوريا هي إحدى الدول التي يتم فيها تنفيذ أنشطة البناء بشكل مكثف، هي أيضاً دولة تعاني من الحرب، فمن الضروري وضع خطط إقليمية لإعادة التدوير الثابتة لكل من حطام الحرب وحطام ما بعد الزلزال في سوريا.

2. أهمية البحث وأهدافه

يعد البيتون من أكثر مواد البناء استخداماً، وبالتالي فإن هدم المباني الناتج عن الزلازل والحروب وإعادة الإعمار ينتج كميات كبيرة من النفايات البيتونية التي يجب الاستفادة منها لتحقيق الفائدة البيئية والاقتصادية. ويتطلب ذلك إجراء تجارب تبين مدى إمكانية الاستفادة من هذه النفايات، وتتوفر بيانات ومعطيات تشجع الحكومة مستقبلاً على تقديم التسهيلات والتجهيزات اللازمة لإعادة تدوير واستغلال النفايات البيتونية بشكل صحيح وفعال.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأثر البيئي لاستخدام الركام المعاد تدويره في منطقة جمع الحطام الذي تم الحصول عليه من حطام الزلزال كركام في إنتاج البيتون. ولهذا تم إجراء دراسة LCA للبيتون المنتج باستخدام RA، والبيتون المنتج باستخدام NA وتمت مقارنة النتائج لكلا المادتين وتحليلها.

3. مواد وطرق البحث

وفقاً للمعيارين [14] ISO 14040 و [15] ISO 14044 ، منهج تقييم دورة الحياة (Life Cycle Assessment) هو أداة لقياس الأداء البيئي للمنتجات مع مراعاة كامل دورة حياتها، بدءاً من استخراج ومعالجة المواد الخام وحتى التخلص النهائي منها، وهو أحد أهم المنهجيات المتبعة لدعم اتخاذ القرار البيئي الأمثل، وعندما تُدرَس دورة حياة النفايات فإنّ الدراسة تبدأ من لحظة تولّد النفايات وحتى التخلص النهائي منها. ويمكن وصف منهجية تقييم دورة الحياة LCA من خلال أربع مراحل مترابطة، وهي تحديد الهدف والنطاق، وتحميل قوائم الجرد للبيانات، وتقييم الأثر ثمّ تفسيره.

3. 1. عملية إنتاج RAC و NAC

من أجل تقييم تأثير جميع الركام الناتج من CDW الذي تم الحصول عليه من منطقة الدراسة على التأثير البيئي لإنتاج البيتون، تم إجراء دراسة على سيناريو حيث يتم استخدام جميع الركام الذي يمكن إنتاجه من CDW في هذه المنطقة في إنتاج البيتون . ولذلك، فإن المحدد للوحدة الوظيفية هو مقدار الركام الناتج من CDW المتولد في مكان الدراسة.

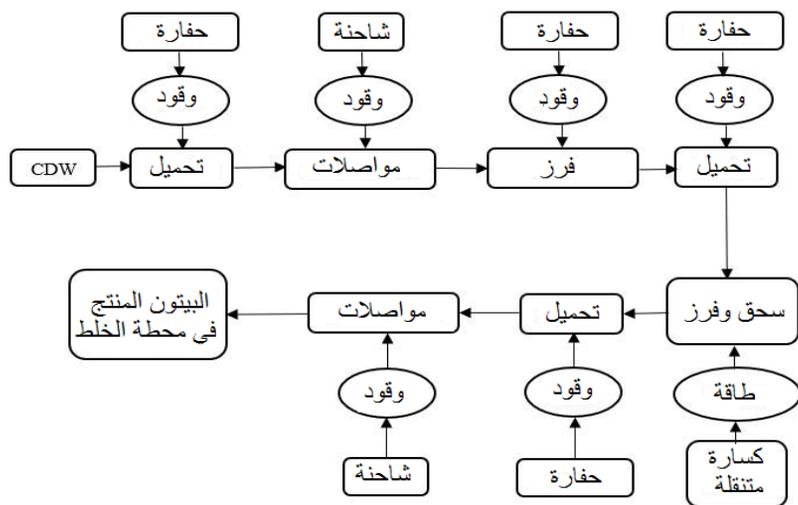
وفقاً لنتائج الحساب يمكن الحصول على 5600925kg من الركام من CDW في حقل الدراسة، ويمكن إنتاج 2978m³ من البيتون C18 بالكامل باستخدام الركام الذي تم الحصول عليه .تم استخدام نفس نسب المكونات في الخلطة البيتونية. والنسب المستخدمة موضحة بالجدول (1). [28].

الجدول (1) نسب الخلط البيتون C18 [28]

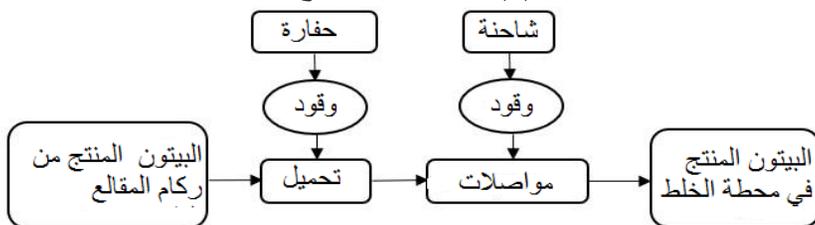
الكمية (m ³)	الأسمنت (kg)	الماء (kg/ m ³)	الحصويات الناعمة (kg)	الحصويات الخشنة (kg)
1	350	241	555	1130
2750	962500	662750	1526250	3107500

تم تحديد حدود النظام لعمليات إنتاج البيتون المنتج باستخدام RA و المنتج باستخدام NA في الشكلين 1 و 2 على التوالي . تقييمات دورة حياة هذه العمليات لها بعض القيود . لا يوجد محطة إعادة تدوير ثابتة CDW في منطقة تخزين الحطام، أثناء عملية إنتاج RAC لإنتاج الركام من النفايات البيتونية، يفترض أن يتم استخدام كسارة متنقلة، تعمل بالكهرباء ويمكنها إجراء الفرز والمراقبة . من المفترض أن يتم فصل الفولاذ الموجود في البيتون المسلح عن طريق الفصل المغناطيسي، ولكن هذه العملية ليست متضمنة في التقييم بسبب نقص البيانات المتعلقة . كما تم إهمال انبعاثات الغبار من هذه العملية وعملية إعادة تدوير الفولاذ . في إنتاج البيتون، يفضل تقليل الخصائص الميكانيكية للبيتون الناتج عن RA المستخدم في إنتاج البيتون على إضافة الأسمنت.

في عملية إنتاج NAC يتم الحصول على الركام الطبيعي من مورد محلي على شكل ركام ناعم وخشن. لا تؤخذ في الاعتبار المسافة التي تقطعها المعدات أثناء وصولها إلى منطقة العمل ومسافة النقل في مرافق إنتاج البيتون والركام. تنتهي كلتا العمليتين بإنتاج البيتون.



الشكل (1) مخطط عملية إنتاج RAC



الشكل (2) مخطط عملية إنتاج NAC

3. 2. برنامج openLCA v.2.0 وتقييم دورة الحياة

وهو البرنامج المستخدم لإجراء تقييم دورة الحياة LCA والذي تم إصداره بواسطة GreenDelta و هو أداة مجانية مستخدمة على نطاق واسع . يقوم بإنشاء نماذج العمليات ويقدم النتائج بتنسيقات مخطط سانكي والرسوم البيانية . يمكن استيراد النتائج بتنسيقات (ILCD, ecoSpold v1, v2, csv, Excel, JSONLD) يتوفر

أيضاً خيار محاكاة مونت كارلو في البرنامج، ويحتوي على نظام لتقييم جودة البيانات ويسمح بتحليل الاستدامة الاقتصادية والاجتماعية.

LCA هي خطوة جمع البيانات وتقوم بتقييم كميات جميع المدخلات الأساسية (الموارد الطبيعية والمواد الخام وأشكال الطاقة والمنتجات) والمخرجات (الانبعاثات والتلوث والطاقة والمنتجات) باستخدام الأساليب المناسبة ضمن حدود الإطار [29]. تم جمع بيانات المدخلات الخاصة بالموارد الطبيعية والمواد الخام وأشكال الطاقة والمنتجات وبيانات المخرجات الخاصة بالانبعاثات والتلوث والطاقة والمنتجات من قاعدة بيانات (ReCiPe Midpoint V1.13) وهي منهجية خاصة تستخدم لتقييم التأثير البيئي لمنتج أو عملية طوال دورة حياتها. يقوم تقييم تأثير دورة الحياة (LCIA) بتحويل الانبعاثات واستخراج الموارد إلى مجموعة موجزة من درجات التأثير البيئي باستخدام عوامل التوصيف كمؤشرات [30].

3.3. منطقة الدراسة

تم اختيار مبنى مهدم بالكامل يقع في توسع المشروع العاشر على المتعلق الجنوبي في محافظة اللاذقية والشكل (3) يبين المبنى المختار

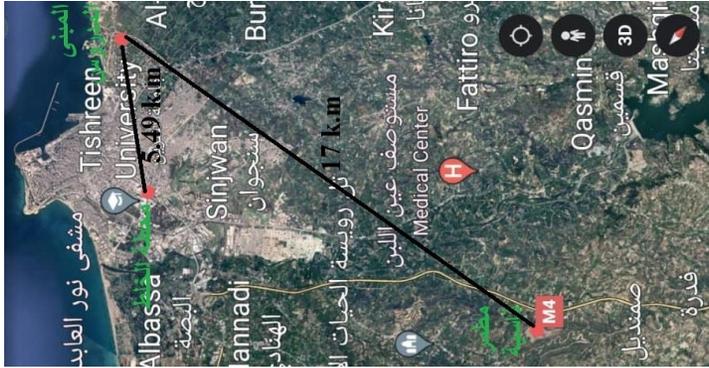


الشكل (3) موقع المبنى المختار

والمبنى مكون من قسمين القسم الأول خمس طوابق كل طابق شقتين من البيتون المسلح كل شقة بمساحة (200m²)، القسم الثاني خمس طوابق كل طابق شقتين من البيتون المسلح كل شقة بمساحة (350m²). وفقاً لخطة إدارة الحطام الذي قد ينجم عن زلزال إسطنبول المحتمل والمدمر، التي وضعتها بلدية إسطنبول الكبرى؛ فإن مبنى مكون من 5 طوابق وشقتين و 10 مساكن بمساحة بناء 120 m²، سينتج 600 m³ من النفايات البيتونية [31]، وبالاعتماد على هذه الدراسة، تم توليد 1000 m³ من الأنقاض البيتونية من هدم شقة إطارية من البيتون المسلح من 5 طوابق بمساحة أرضية 200m²، وأعطت الشقة المكونة من 5 طوابق و 350m² إلى إنشاء 1750m³ من الأنقاض البيتونية. وفي المجموع، تم توليد 2750m³ من الأنقاض البيتونية في مجال الدراسة.

في الدراسات السابقة [2,3]، ذكر أن ما يقرب من 40 % من وزن CDW يتكون من البيتون. وجدت دراسة أن كثافة CDW المختلطة تبلغ (528 kg/m³) [32]. وأشارت دراسة أخرى إلى أن متوسط قيمة كثافة البيتون هو (2.200–2.600 kg/m³) [33]. وبالنظر إلى نتائج الدراسات المذكورة أعلاه فإن نسبة المادة البيتونية في الركام مقبولة بنسبة 40 % من الكتلة، ويفترض أن كثافة البيتون (2400kg/m³) ولذلك فإن وزن (2750m³) من الركام البيتوني هو (6600000kg) ((6600t)) وتعني هذه القيمة أيضاً 40% من وزن CDW هو (16500t). وحجم (3300tons) من CDW بكثافة (528 kg/m³) هو (31250m³). قد تكون الكسارة الفكّية المتنتقلة قادرة على سحق حوالي 600 t في الساعة وقد تشتمل على كسارة وغريلة وحزام ناقل إرجاع من وحدة الغريلة إلى مدخل الكسارة لتكرير الركام الكبير إلى الحجم المطلوب [34]. تتمتع الكسارة المتنتقلة الواحدة بالقدرة على إنتاج نطاق يتراوح من (1,800– 2,400tons) من ركام البيتون المعاد تدويره RCA على أساس يومي [35].

في هذه العملية، من المفترض أن تنتج الكسارة الفكّية (400 m^3) من الركام وتستهلك (150 kW) من الكهرباء في الساعة [36]. في هذا السيناريو، يتم استخدام الحفارة موديل CAT 330 بسعة 1.54 m^3 ويستهلك 18 من الوقود في الساعة في عمليات إزالة الحطام والفرز والتحميل [37]. وتم إجراء حسابات النقل وفقاً لسعة الشاحنة، وهي الحمولة القصوى البالغة 17.3 tons ، تعتبر الجسيمات الأصغر من 5 mm ركاماً ناعماً، أما تلك التي يزيد حجم جسيماتها عن 5 mm فتصنف على أنها ركام خشن [38]. ذكر أن ما يصل إلى 39.39% من كتلة الملاط يبقى على السطح الكلي الذي تم الحصول عليه من نفايات البيتون [39]. تم تحديد أن 1 m^3 من البيتون بوزن 2400 kg تحتوي على 1881 kg من الركام و 519 kg من الملاط. مع الأخذ في الاعتبار أن 30% من كمية الملاط تبقى على السطح الكلي، يمكن إنتاج 2036.7 kg من RA من 1 m^3 من البيتون. في هذه الحالة، يمكن إنتاج 5600925 من RA من 2750 m^3 من مخلفات البيتون المهملة المستخرجة من الموقع. ولإنتاج RAC يتم نقل 16500 tons من النفايات الصلبة الموجودة في حقل الحطام إلى حقل تخزين الحطام مطمر قاسية، ويتم إجراء عمليات فرز CDW وسحق نفايات البيتون وفرزها ومراقبتها في حقل تخزين الحطام، والذي يبعد مسافة 17 km عن حقل الحطام. بعد ذلك، يتم نقل 4633.75 tons من الركام الناعم والخشن المجهز إلى محطة خلط البيتون. تبلغ المسافة بين حقل تخزين الأنقاض ومحطة خلط البيتون 5.49 والشكل (4) يبين مسافة النقل بين موقع المبنى ومكان التجميع مطمر قاسية ومحطة الخلط.



الشكل (4) مسافة النقل بين موقع المبنى ومكان التجميع مطمر قاسية ومحطة الخلط. بعد تحديد مراحل إنتاج RAC و NAC والمواد المستخدمة، وكمية وموارد الطاقة المستهلكة، ومصادر المواد الخام المستخدمة، ونوع وكمية المواد المنقولة، ومسافات النقل، تم إنشاء LCI باستخدام قاعدة بيانات ReCiPe كما هو موضح بالجدول (2).

الجدول (2) بيانات ReCiPe المستخدمة لمدخلات إنتاج RAC و NAC

نوع البيتون	المدخلات	الكمية	الوصف
RAC	الاسمنت	962500	إسمنت بورتلاندي
	الماء	662750	مياه سطحية
	الوقود	16397	مازوت
	الكهرباء	3712.5MJ MJ	تيار 220V
NAC	النقل	194594	حمولة شاحنة 17.3 t كحد أقصى
	الاسمنت	962500	إسمنت بورتلاندي
	الماء	662750	مياه سطحية
	الحصويات الخشنة	3107500	المقلع
	الحصويات الناعمة	1526250	المقلع
	الوقود	614.394	مازوت
	النقل	303570.14	حمولة شاحنة 17.3 t كحد أقصى

3.4. تقييم تأثير دورة الحياة (LCIA)

تقيس إحدى الخطوات الثلاث لتقييم دورة الحياة (LCA) التي تسمى تقييم تأثير دورة الحياة (LCIA) مدى مساهمة كل تدفق أولي، مثل الملوثات المحمولة جواً أو استهلاك المواد الخام والطاقة لعملية الإنتاج، في التأثير البيئي. هدفها هو استخدام نتائج تحليل المخزون وفئات التأثير ومؤشرات الفئات لتقييم عملية الإنتاج من وجهة نظر بيئية [40]. هناك ثلاثة إجراءات يجب اتباعها في خطوة (LCIA) وهي اختيار فئات التأثير، ومؤشرات الفئة، ونماذج التوصيف [14,15].

بالنسبة لـ (LCIA) كطريقة لتقييم التأثير، تم استخدام قاعدة بيانات ReCiPe Midpoint (V1.13) المستوردة إلى (openLCA (V 2.0 حيث توفر هذه القاعدة بيانات المخرجات على شكل فئات موضحة بالجدول (3).

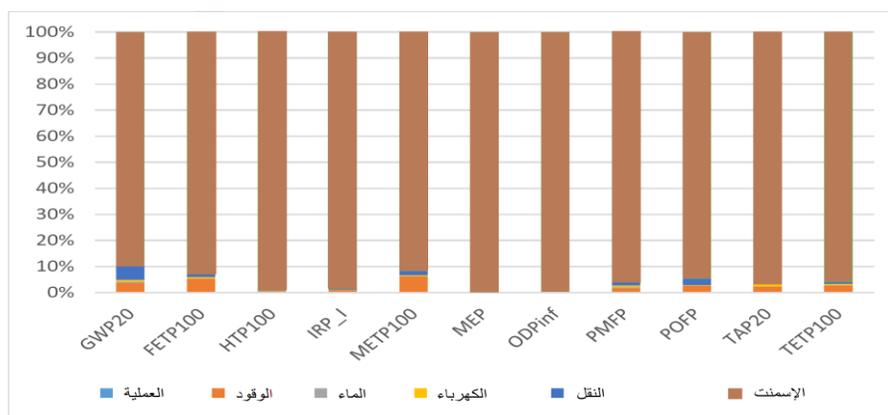
4. النتائج والمناقشة

إن تفسير دورة الحياة، وهو الخطوة الأخيرة في عملية LCA هو المكون الرئيسي لنتائج هذه الدراسة. في هذه الخطوة، يتم تحليل النتائج كأساس للاستنتاجات والاقتراحات والقرارات بما يتماشى مع الهدف ووصف النطاق الموضحة بالمرجعين [14,15].

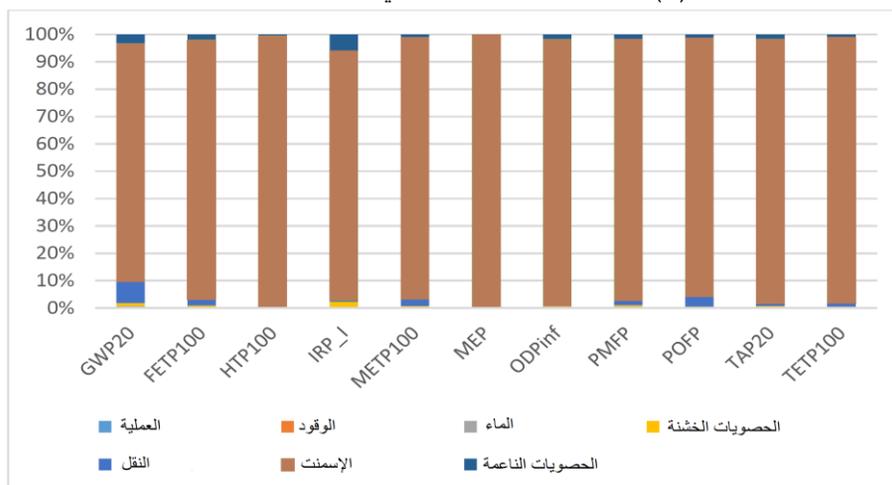
الجدول (3) التأثيرات البيئية لـ RAC و NAC من حيث معايير نقطة المنتصف.

NAC	RAC	الوحدة المرجعية	فئة التأثير
5.685250476	5.770169149	kg 1.4-DCB-Eq	السمية البيئية الأرضية (TETP100)
813.5759762	788.0863217	kg CO2-Eq	تغير المناخ (GWP20)
1071.065635	1077.062435	kg SO2-Eq	تحمض الأرض (TAP20)
309.9147857	309.3844324	kg NMVOC-Eq	تشكيل الأوكسدة الضوئية (POFP)
36.9221373	38.55796172	kg 1.4-DCB-Eq	السمية البيئية البحرية (METP100)
14517.80873	14541.79506	kg 1.4-DCB-Eq	السمية البشرية (HTP100)
1.581018651	1.623240603	kg 1.4-DCB-Eq	السمية البيئية للمياه العذبة (FETP100)
0.041462143	0.040615899	kg CFC-11-Eq	استنفاد الأوزون (ODPinf)
331.2491111	329.285977	kg PM10-Eq	تكوين الجسيمات (PMFP)
3.329994206	3.331828234	kg N-Eq	التخثث البحري (MEP)
1583.752937	1467.659911	kg U235-Eq	الإشعاع المؤين (IRP_1)

وفقاً لنتائج محاكمات لندن للتحكيم في RAC وNAC، فإن لها عموماً أرقام تأثير قريبة. تتمتع RCA بإمكانية أقل لتغيير المناخ، والسمية البيئية البحرية، والسمية البيئية للمياه العذبة، واستنفاد الأوزون، وتكوين المواد الجسيمية، والإشعاع المؤين، مقارنة بـ NAC، ومع ذلك NAC أقل ضرراً بالبيئة من حيث السمية البيئية الأرضية، والتحمض الأرضي، والسمية البشرية، والسمية البيئية البحرية، والسمية البيئية للمياه العذبة. من حيث تكوين الأوكسدة الضوئية والتخثث البحري فإن لهما نفس التأثير تقريبا. كما هو مبين بالجدول (3).



الشكل (5) التأثيرات البيئية لـ RAC في مراحل LCA المختلفة



الشكل (6) التأثيرات البيئية لـ NAC في مراحل LCA المختلفة

يوضح الشكلان 5 و 6 المساهمات البيئية لخطوات إنتاج RAC و NAC على التوالي، في العديد من فئات التأثير، ويتم توضيح حصص الخطوات في كل فئة في الرسوم البيانية. يمكن أن نرى بسهولة أن الأسمنت هو السبب الأكبر للتأثير البيئي على الإطلاق، في حين أن استخدام المياه له أقل تأثير في كل فئة تقييم خلال مرحلة إنتاج كلا النوعين من البيتون. الخطوة التي تقدم ثاني أكبر مساهمة في التأثير البيئي الناتج عن إنتاج RAC هي استهلاك الوقود أثناء التحميل من حيث كل عامل تأثير. النقل له ثالث أكبر تأثير على معظم فئات التأثير وله تأثير ملحوظ على GWP20 و POFP أثناء إنتاج RAC كما هو موضح بالشكل (5). أما في عملية إنتاج NAC يعد الركام الخشن ثاني أكبر مساهم في التأثير البيئي في كل فئة باستثناء MEP كما هو موضح بالشكل (6). بشكل عام، يؤدي الركام الناعم والنقل أيضاً إلى زيادة التأثير البيئي لـ RAC بشكل كبير. في الدراسات السابقة [13,41] وكذلك في هذه الدراسة، وجد أن الأسمنت كان المساهم الأكبر في كل فئة تأثير في عمليات LCA لكل من RAC و NAC ومع ذلك، على عكس الدراسات السابقة، فإن ثاني أكبر مساهمة في فئات تأثير إنتاج البيتون لم تكن عن طريق النقل ولكن عن طريق استهلاك الوقود والركام الخشن. يُعتقد أن سبب هذا الاختلاف هو أن النقل له تأثير كبير على LCA لإنتاج البيتون، كما ذكر [17, 42, 43] وأنه تم الانتهاء من العمليات في دراسة الحالة لهذه الدراسة على مسافة نقل أقصر نسبياً مقارنة بالدراسات السابقة.

ووفقاً للنتائج، فإن RAC و NAC لهما تأثيرات متشابهة في مختلف الفئات.

- تقدم RAC مساهمات أقل قليلاً في (GWP20, POFP, ODPinf,) مقارنة بـ NAC .
- إن GWP 20 لـ RAC و NAC هو (788.086 kg CO₂-Eq و813.575) على التوالي.

- يسبب RAC (POFP) $309.38 \text{ kg NMVOC-Eq}$ ويبلغ وزن POFP المنتج من NAC $(309.91 \text{ kg NMVOC-Eq})$.
- يبلغ ODPinf لـ RAC $(0.0406 \text{ kg CFC-11-Eq})$ أما لـ NAC فكان $(0.0414 \text{ kg CFC-11-Eq})$.
- يحتوي RAC على $(329.28 \text{ kg PM}_{10}\text{-Eq PMPF})$ وهو أقل بمقدار $(2.25 \text{ kg PM}_{10}\text{-Eq})$ من NAC.
- يحتوي RAC أيضاً على $(1467.65 \text{ kg U}_{235}\text{-Eq})$ من اـ IRP وهو أقل من NAC.

5. الاستنتاجات والتوصيات

تم حساب التأثيرات البيئية للبيتون المنتج باستخدام RA التي تم الحصول عليها من CDW للمباني المدمرة في اللاذقية نتيجة للزلزال الذي مركزه كهرمان مرعش والبيتون المنتج باستخدام NA نفس الكمية من في تلك المنطقة من خلال اعتماد طريق LCA. ثم تمت مقارنة النتائج وتقييمها.

يزيد RAC من التأثير البيئي لإنتاج البيتون أقل من NAC في هذه المرحلة بسبب مسافة النقل الأقرب.

الأسمنت هو العامل الرئيسي الذي يزيد من التأثيرات البيئية لكل من RAC و NAC، في جميع الفئات.

تم ذكر أن النقل هو المرحلة الثانية التي تزيد من التأثير البيئي أكثر. وتم الحصول على نتائج مماثلة في الدراسات السابقة فيما يتعلق بإمكانية بتغيير المناخ واستنفاد الأوزون،

ولكن الوقود يقدم ثاني أعلى مساهمة في فئات التأثير التسعة الأخرى أثناء عملية إنتاج RAC.

أما في عملية إنتاج NAC يعد النقل هو الخطوة التي تزيد من التأثير البيئي من حيث السمية البيئية للمياه العذبة وتغير المناخ والسمية البيئية البحرية وتشكيل الأكسدة الضوئية والسمية البيئية الأرضية وفي جميع الفئات الأخرى، يحتل الركاب الناعم ثاني أعلى حصة من الزيادة في التأثير البيئي.

في الدراسات المستقبلية يوصى:

- إجراء تقييم دورة الحياة الشامل على المبنى الذي يتم فيه استخدام البيتون المنتج باستخدام RA التي تم الحصول عليها من CDW حيث يتم تقييم جميع مراحل دورة حياة المبنى. وستكون مقارنة نتائج تقييم دورة الحياة (LCA) لعمليات إنتاج RAC التي تم تنفيذها بأنواع وأعداد مختلفة من المعدات مفيدة لفهم تأثير الوقت والمعدات على تقييم دورة الحياة.
- إن إجراء مقارنات بين الخواص الميكانيكية ونتائج LCA للبيتون التي تحتوي على نسب مختلفة من RA سيكون فعالاً في تحديد النسبة المثوية من RA التي يجب أن تحتويها المادة وفقاً للاستخدام المقصود.
- ينبغي النظر في الجوانب الاجتماعية والاقتصادية لـ LCA ودراستها.

المراجع References

1. <https://iwaste.epa.gov/guidance/natural-disaster/fact-sheets/types-of-waste?id=soil-sediments>. **Access date:** 25.03.2023
2. تريفالور، 2004 المخطط التوجيهي لإدارة النفايات الصلبة في الجمهورية العربية السورية المرحلة الثالثة. وزارة الإدارة المحلية والبيئة، 200 صفحة.
3. Oikonomou, N., "Recycled concrete aggregates", **Cement and Concrete Composites**, 27(2): 315-318, (2005).
4. Da Silva, E., Torem, M., and Silva, F., "Technological characterization and utilization of recycled aggregate in the fine fraction in substitution to the fine natural aggregate for concrete production", **Recycling and Sustainable Development**, 12: 37-42, (2019).
5. Huang, W.L., Lin, D.H., Chang, N.B., and Lin, K.S., "Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process", **Resources, Conservation and Recycling**, 37: 23-37, (2002).
6. Marzouk, M. and Azab, S., "Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics", **Resources, Conservation and Recycling**, 82: 41-49, (2014).
7. Reinhart, D.R. and McCreanor, P., "Disaster Debris Management-Planning Tools", **US Environmental Protection Agency Region IV**, Florida, US, (1999).

8. الشركة العامة للدراسات والاستشارات الفنية لجان تقييم المباني عقب الزلزال، (2023).
9. دائرة النفايات الصلبة - محافظة اللاذقية 2023.
10. Marinković, S. B., Ignjatović, I., and Radonjanin, V., "Life-cycle assessment (LCA) of concrete with recycled aggregates (RAs)", Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste 1 st ed., Pachego-Torgal, F., Tam V.W.Y., Labrincha, J.A., Ding, Y., de Brito, J., Woodhead, **Philadelphia**, 569-604, (2013).
11. Yazdanbakhsh, A., Bank, L. C., Baez, T., and Wernick, I., "Comparative LCA of concrete with natural and recycled coarse aggregate in the New York City area", **International Journal of Life Cycle Assessment**, 23(6): 1163-1173, (2018).
12. Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A., and Barra, M., "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete", **Cement and Concrete Composites**, 37(5): 735-742, (2007).
13. Marinković, S., Radonjanin, V., Malešev, M., and Ignjatović, I., "Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete, **Waste Management**", 30(11): 2255-2264, (2010).
14. International Organization for Standardization (ISO), "Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework", **ISO Standard, 14040**, Geneva, Switzerland, (2006).

15. International Organization for Standardization (ISO), "Environmental Management – Life Cycle Assessments – Requirements and Guidelines", **ISO Standard, 14044**, Geneva, Switzerland, (2006).
16. Khasreen, M., Banfill, P. F., and Menzies, G., "Life–Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review", **Sustainability**, 1(3): 674–701, (2009).
17. Pradhan, S., Tiwari, B. R., Kumar, S., and Barai, S. V., "Comparative LCA of recycled and natural aggregate concrete using Particle Packing Method and conventional method of design mix", **Journal of Cleaner Production**., 228: 679–691, (2019).
18. Mah, C. M., Fujiwara, T., and Ho, C. S., "Life cycle assessment and life cycle costing toward eco–efficiency concrete waste management in Malaysia", **Journal of Cleaner Production**, 172: 3415–3427, (2018).
19. Rosado, L. P., Vitale, P., Penteado, C., and Arena, U., "Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil", **Journal of Cleaner Production**, 151: 634–642, (2017).
20. Dias, A. B., Pacheco, J. N, Silvestre, J. D., Martins, I. M., and De Brito, J., "Environmental and Economic Life Cycle Assessment of Recycled Coarse Aggregates: A Portuguese Case Study", **Materials**, 14(18): 5452, (2021).
21. Shi, X., Wang, Q., Qiu, C., Zhao, X., "Recycling Construction and Demolition Waste as Sustainable Environmental

- Management in Post-Earthquake Reconstruction", **4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering**, Chengdu, China, (2010).
22. Tsakalakis, K., Frangiskos, A., Karka, H., "Recycled Aggregates–An Environmentally Friendly Management Athens Urban Area", **IX Balkan Mineral Processing Congress**, Ýstanbul, Türkiye, (2001).
23. Morimoto, K., Misawa, T., Hironaka, T., "A Study on the Reuse of Concrete Rubble Caused by the Earthquake as Recycled Concrete", **Okumura Gumi**, (2014).
24. Ulucan, M., Alyamaç, K., "A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental", **Waste Management**, 146: 53–65, (2022).
25. Faleschini, F., Zanini, M., Pellegrino, C., "Environmental impacts of recycled aggregate concrete", **Italian Concrete Days–Evolution and Sustainability of Concrete Structures**, Rome, Italy, (2016).
26. Kumbhar, S. A., Gupta, A., and Desai, D. B., "Recycling and Reuse of Construction and Demolition Waste for Sustainable Development", **International Journal of Sustainable Development**, 6(7): 83–92, (2013).
27. Silva, A. L. and Nunes, A. O., "How important is the LCA software tool you choose? Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto", **International Conference of Life Cycle Assessment in Latin America**, (2017).

28. منشآت البيتون المسلح 1 د. أحمد عبود- منشورات جامعة تشرين. 2001.
29. Supawanich, P., Malakul, P., and Gani, R., "Life Cycle Assessment Studies of Chemical and Biochemical Processes through the new LCSoft Software-tool", **Computer Aided Chemical Engineering**, 37: 2549-2554, (2015).
30. <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>.
Access date: 28.04.2023
31. "Olası Yıkıcı Bir İstanbul Depreminde Oluşabilecek Enkaza Dair Yönetim Planı", **İstanbul Büyükşehir Belediyesi**, Report, İstanbul, Türkiye, (2023).
32. Lu, W., Yuan, L., and Xue, F., "Investigating the bulk density of construction waste: A big data-driven approach", **Resources, Conservation and Recycling**, 169: 105480, (2021).
33. Neville, A. M., **Properties of Concrete 4th Edition**, Essex, (1995).
34. <https://fabo.com.tr/en/what-is-a-mobile-crusher>. **Access date**: 17.03.2023
35. Faqiri, A., Srivastav, V., and Pandey, R. K., "Study of The Effect of Recycling Method on The RCA in Structural Concrete Based on Different Properties", **International Journal Civil Engineering and Technology**, 8(6): 820-833, (2017).
36. <https://www.metso.com/portfolio/lokotrack-urban-series>.
Access date: 05.05.2023
37. https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/excavators.html. **Access date**: 11.03.2023

38. Wang, Y., Liu, J., Zhu, P., Liu, H., Wu, C., and Zhao, J., "Investigation of Adhered Mortar Content on Recycled Aggregate Using Image Analysis Method", **Journal of Materials in Civil Engineering**, 33(9): 04021225, (2021).
39. Verian, K. P., Ashraf, W., and Cao, Y., "Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production", Resource, **Conservation and Recycling**, 133: 30–49, (2018).
40. Rosenbaum, R., Hauschild, M.Z., Boulay, A., Fantke, P., Laurent, A., Nunez, M., Vieira, M., "Life Cycle Impact Assessment", Life Cycle Assessment: Theory and Practice 1 st ed., Hauschild, M.Z., Olsen, S.I, Rosenbaum, R.K., **Springer**, Berlin, 167–270, (2018).
41. Braunschweig, A., "Recycled Concrete: Environmentally superior to virgin concrete?", **XVI European Ready Mixed Concrete Organization Congress**, Verona, Italy, (2012).
42. Ding, T., Xiao, J., and Tam, Y., "A closed-loop life cycle assessment of recycled aggregate concrete utilization in China", **Waste Management**, 56: 367–375, (2016).
43. Estanqueiro, B., Silvestre, J., De Brito, J., and Pinheiro, M., "Environmental life cycle assessment of coarse natural and recycled aggregates for concrete", **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, 22(4): 429–2249, (2018).