The Optimum Site Selection of Recycling Centers and Landfills for Demolition and Construction (D&C) Waste Using Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis
Case Study: Homs Governorate

Dr. Aber Muhammad*
Dr. Samia Shiban**
Alaa Hasan***

(Received 28 / 6 / 2021. Accepted 22 / 11 / 2021)

□ ABSTRACT □

Construction and demolition (C&D) waste is one of the main components of solid waste due to its large volumes and quantities. In the last ten years, due to the war on Syria, huge quantities of construction and demolition waste were generated, and this waste is often disposed of in municipal waste dumpsites or in illegal landfills without pre-treatment. Recycling center and landfill sites selection criteria are a complex process that depends on several conditions and regulations. In this study, Seven criteria were adopted, based on expert opinions (urban centers, tourist and archaeological centers, slope, NDVI, Water network, roads network, affected areas). Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) technology are combined, together using the Hierarchical Analysis Process (AHP) and spatial analysis process to assess the spatial suitability for selecting sites for fixed recycling centers and landfills that don't exceed the administrative boundaries of Homs city and mobile recycling centers that don't exceed of the boundaries of the organizational scheme of the neighborhoods of Homs city. The criteria were represented in maps for both fixed and mobile centers in the GIS environment, and processed, reclassified and weighted according to the importance of each criterion, to get the result in two final maps showing the most suitable locations for the fixed and mobile recycling center. the 5 value representing the most suitable territories for selecting locations, while the results of the hierarchical analysis showed that the economic factors took the greatest importance.

Keywords: Construction and Demolition C&D waste, Solid waste, GIS, Recycling, Multi-criteria Decision Analysis, AHP.

*Associate Professor, the Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Al-Baath University, Homs, Syria. dr.abermohamad@yahoo.com
**Assistant Professor, the Department of Environmental Systems Engineering, Higher Institute of Environmental Research, Tishreen University, Latakia, Syria. samia982@yahoo.com
* Master Student, the Department of Environmental Systems Engineering, Higher Institute of Environmental Research, Tishreen University, Latakia, Syria. eng.alaa.hasan78@gmail.com

إيجاد الأماكن المثلى لمراكز إعادة التدوير ومكبات مخلفات الهدم والبناء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتحليل القرار متعدد المعايير – حالة الدراسة: محافظة حمص

د. عابر محمد*

د. سامية شيبان**

آلاء حسن***

(تاريخ الإيداع 28 / 6 / 2021. قُبِل للنشر في 22/ 11 / 2021)

□ ملخّص □

تعتبر مخلفات البناء والهدم واحدة من المكونات الرئيسة للمخلفات الصلبة، وذلك بسبب أحجامها وكمياتها الكبيرة. تولدت في السنوات العشر الأخيرة، وبسبب الحرب على سوريا كميات كبيرة من مخلفات البناء والهدم، وغالباً ما يتم التخلص منها في مكبات النفايات البلدية أو في أماكن عشوائية بدون إعادة تدوير ومعالجة لها. إن معايير اختيار موقع مراكز إعادة التدوير ومكبات مخلفات الهدم والبناء هو عملية معقدة تعتمد على عدد من الشروط والإجراءات. تم في هذه الدراسة اعتماد سبعة معايير (المراكز الحضرية، المراكز السياحية والأثرية، الانحدار، الغطاء النباتي، الشبكة المائية، شبكة الطرق، المناطق المتضررة) وذلك بالاستعانة بآراء الخبراء. وقد تم دمج تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنية تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) مستخدمين عملية التحليل الهرمي (AHP) والتحليل المكاني (SA) لتقييم الملاءمة المكانية لاختيار مواقع مراكز إعادة تدوير ثابتة ومكبات لهذه المخلفات لا تتعدى الحدود الإدارية داخل مدينة حمص، واختيار مراكز إعادة تدوير متحركة لا تتعدى حدود المخطط التنظيمي داخل أحياء مدينة حمص. تم تمثيل المعايير على شكل خرائط لكل من المراكز الثابتة والمتحركة في بيئة الـ GIS ومن ثم معالجة الخرائط وإعادة تصنيفها وإعطاء أوزان لها حسب أهمية كل معيار لتشكل نتيجتين نهائيتين على شكل خرائط تُظهر أكثر الأماكن ملاءمة للحالتين وحيث تمثل القيمة 5 الأراضي الأكثر ملائمة لاختيار المواقع، بينما أوضحت نتائج عملية التحليل الهرمي أن العوامل الاقتصادية لها الأهمية الأكبر.

الكلمات المفتاحية: مخلفات الهدم والبناء، نظم المعلومات الجغرافية، إعادة التدوير، النفايات الصلبة، تحليل القرار متعدد المعايير، التحليل الهرمي.

* أستاذ مساعد – قسم الهندسة البيئة – كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث – حمص– سورية. dr.abermohamad@yahoo.com

** مدرس – قسم هندسة النظم البيئية – المعهد العالي لبحوث البيئة – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.samia982@yahoo.com

*** طالبة ماجستير – هندسة النظم البيئية –المعهد العالي لبحوث البيئة – جامعة تشرين – اللاذقية– سورية. eng.alaa.hasan78@gmail.com

مقدمة:

تعتبر مخلفات الهدم والبناء (Construction and Demolition Waste C&D) أحد المكونات الرئيسة للمخلفات الصلبة وتحتل جزءًا كبيرًا منها. وتعتبر إدارتها مشكلة تقنية تتأثر بشدة بعدة عوامل قانونية، اجتماعية، اقتصادية وبيئية وترتبط هذه العوامل مع بعضها البعض ضمن نظام ديناميكي معقد (Tiwary, 2016). تسبب الإدارة غير السليمة لمخلفات الهدم والبناء مشكلة بيئية بسبب النقص في معالجة هذه المخلفات التي يتم نقلها إلى المكب بطريقة غير خاضعة للرقابة، وهو ما يسبب نقص في مساحة المكب (Calvo et al., 2014)، ويصبح التخلص منها في مكبات النفايات البلدية مشكلة حرجة بالنظر إلى تكلفة الأرض ومدى توافرها. لذلك، تعد الإدارة السليمة لها مهمة جدًا (Marzouk & Azab, 2014). عندما يقع حدث مدمر كالحروب والكوارث الطبيعية يتولد لدينا كميات هائلة من مخلفات الهدم والبناء في وقت قصير جداً مما يتطلب سياسات إدارة خاصة، ومن الممكن أن يكون حدث واحد مسؤول عن تولد مخلفات بمعدل 5–15 مرة من الكمية السنوية لتوليد المخلفات (Faleschini et al., 2017). قد يتأثر إصلاح البنى التحتية على المدى القصير والطويل بسوء إدارة المخلفات في مرحلة ما بعد الكوارث لذلك تعد إدارة مخلفات الهدم والبناء بعد الكوارث أحد أهم الأنشطة خلال فترة إعادة الإعمار (Karunasena et al., 2012).

تلعب تقنية نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information System GIS) دوراً كبيراً في تحديد المواقع المثلى لمعالجة المخلفات وطمرها، لما تتمتع به من النظرة الشمولية الواسعة، وقدرتها على الربط بين جميع العوامل والمتغيرات المؤثرة في تحديد هذه المواقع، والتي تتنوع في طبيعتها من معايير جيولوجية واجتماعية واقتصادية وبيئية والقبول الجماهيري، والاختلاف في شدة تأثيرها وتأثرها ودرجة تضررها من مجاورة مطمر النفايات، وما قد ينتج عنه من انعكاسات (Al Rehaily, 2017). إن استخدام تقنيات التقييم متعدد المعايير (Multi-Criteria decision analysis MCDA) القائمة على نظم المعلومات الجغرافية لتحليل مدى ملاءمة مواقع التخلص من المخلفات الصلبة يمكن أن يحسن فهم المعلومات التي تساعد في اتخاذ القرارات، وزيادة موضوعية ودقة التقييم، كما أنه يزود صانعي القرار بالأدوات اللازمة لإجراء اختيار مستنير بشكل أفضل وتوضيح المشكلات المتعلقة بالجوانب المختلفة لاختيار مواقع طمر المخلفات الصلبة البلدية (Kebede et al., 2021). قام Şener وآخرون بدمج نظم المعلومات الجغرافية مع عملية التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process AHP) لاتخاذ قرارات متعددة المعايير في دراسات تحديد مواقع مطامر النفايات حيث استخدم AHP لتقدير وزن كل معيار من المعايير ثم أجل رسم الخرائط في بيئة ال GIS (Şener et al., 2010) ومن هذا المنطلق استخدمت الدراسة القيم الموزونة Weight، بإعطاء العناصر المؤثرة في نجاح منشأة المكب وزناً أكبر من العناصر الأخرى.

من ناحية أخرى، لا يتوفر لمراكز إعادة تدوير مخلفات الهدم والبناء ومكباتها دراسات مرجعية كثيرة للمعايير المعتمدة لاختيار الموقع الأمثل لها. في دراسة قام بها (Madi and Srour, 2019) تم اعتماد المعايير التالية (الميول، مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (Normalized Difference Vegetation Index NDVI)، مؤشر تساقط الثلوج، المسطحات المائية، المناطق الحضرية والعامة، المساحات الخضراء، الطرق المحظورة، الطرق المسموح بها) كمعايير لدراسة المواقع الأمثل لتحديد أماكن مراكز إعادة تدوير مخلفات الهدم والبناء في سوريا باستخدام الـ GIS والمنطق الضبابي. وفي دراسة أخرى قام بها (Paz et al., 2020) حول استخدام الـ GIS كأداة فعالة في إدارة مخلفات الهدم والبناء في منطقة العاصمة ريسيفي، ولاية بيرنامبوكو، البرازيل، كونه تم تسجيل 857 موقع مكب غير قانوني تتوزع في مناطق استراتيجية في العاصمة، والتي تجلّى تأثيرها في عرقلة قنوات تصريف الأمطار وفي مجاري

الأنهار مما أدى إلى فيضانات مدمرة، حيث اعتمدت المعايير التالية في هذه الدراسة (المجاري المائية، التربة، الطرق، الميول، المناطق المحمية، المناطق الحضرية، الجيولوجيا). بينت الدراسة أنه يجب على الباحث أن يفكر في العوامل الأكثر أهمية في منطقة الدراسة، وما هي المخاطر البيئية التي يمكن أن تنتج عن هذه النفايات. بينما اعتمد (Ding et al., 2018) على 11 معياراً، منها (المياه السطحية، المحميات الطبيعية، المطارات، الأراضي الزراعية، الميول، المناطق السياحية والثقافية والأثرية، المناطق الحضرية، الطرق، قيمة الأرض) وقام بدمج طريقة AHP مع تقنية الـ GIS لتحديد وزن كل عامل مؤثر وعرض النتائج على شكل خرائط حيث أظهر التحليل أن أكثر المناطق ملاءمة لإنشاء مكبات مخلفات البناء هي مناطق صغيرة لذلك من الضروري زيادة معدل إعادة التدوير لمخلفات البناء وتقليل المدافن العشوائية.

تمثلت أغلب الدراسات المرجعية الخاصة باختيار الموقع الأمثل لمحطات المعالجة والمكبات في المخلفات البلدية الصلبة، على سبيل المثال، في دراسة قام بها (Issa and Shehi, 2012) عن التقييم المتعدد المعايير عبر نظم المعلومات الجغرافية لمواقع مكبات المخلفات في أبو ظبي كانت المعايير المعتمدة: القرب من المناطق السكنية، القرب من الآبار ،عمق المياه الجوفية، الجيولوجيا والتضاريس، القرب من المواقع الأثرية، شبكة الطرق، البعد عن شبكات الصرف وميل الأرض، وبينت الدراسة أن التحليل المتكامل لـ GIS-MCE (Multi-Criteria Evaluation) هو أداة جيدة في العثور على المواقع المناسبة لمكبات المخلفات في مدينة أبو ظبي وأوضحت النتائج أن 30% من منطقة الدراسة مناسبة جداً للاستخدام و25% مناسبة و 45% غير مناسبة وأن اختيار موقع المكب يحتاج إلى المزيد من البحث الميداني. بحثت دراسة (Mohammad, 2016) في مشاكل مواقع التخلص من المخلفات في أسايتا في أثيوبيا وتداعياتها على سكان المدينة كما تم استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الهرمي كأداة لتحليل المعايير. وفي دراسة قام بها (Hamod, 2016) حول تقييم مواقع مكبات المخلفات في محافظة طرطوس، بعد تحديد المعايير التي سيتم على أساسها تقييم المواقع بما يحقق الشروط البيئية والاجتماعية والاقتصادية تم استخدام الـ GIS من أجل إنتاج خرائط المعايير، ومقاطعة هذه الخرائط للحصول على المواقع المناسبة للمكب. بينت النتائج أن المكبات الحالية غير محققة للمعايير. تم الحصول على خارطة تبين المواقع المثلى التي بلغ عددها 18 موقعاً ومساحتها مجتمعة لا تتعدى 0.012% من إجمالي مساحة المحافظة.

نظراً لمحدودية الدراسات المتعلقة بمعايير اختيار مواقع مراكز إعادة تدوير مخلفات C&D والمكبات الخاصة بها وعدم وجود مرجعية معتمدة تم في هذا البحث الاستعانة بآراء عدد من الخبراء في هذا المجال لتحديد المعايير المرعية لخصوصية حالة الدراسة، تم توزين المعايير المعتمدة من قبل الخبراء عبر طريقة AHP.

أهمية البحث وأهدافه:

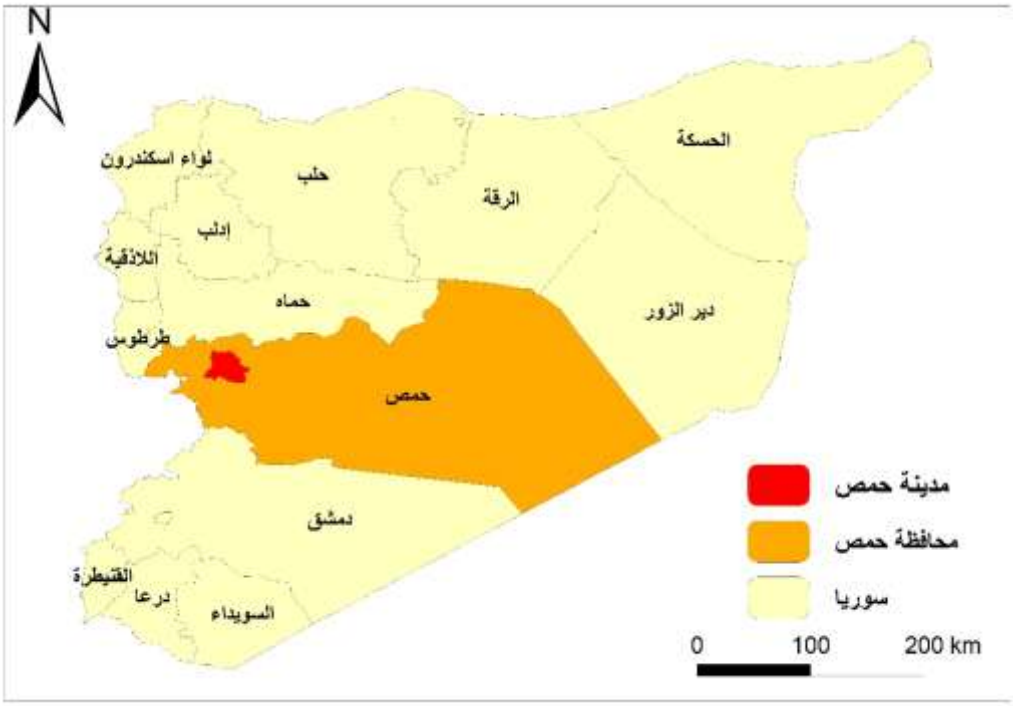
تكمن أهمية البحث في أن الحرب على سوريا أدت إلى تولّد كميات ضخمة من مخلفات الـ C&D في مختلف المحافظات ومنها محافظة حمص التي أخذت كحالة للدراسة. تشكل هذه المخلفات تحدياً كبيراً أمام البلديات والجهات الحكومية بسبب عدم استيعاب الكم الهائل منها، وعدم وجود مكبات مناسبة لها. لذلك، كان لابد من وضع خطة لإدارة هذه النفايات. إن اقتراح الأماكن المثلى لمراكز إعادة تدوير هذه المخلفات ومكبات خاصة بها يعتبر الخطوة الأولى في الإدارة السليمة لها، لأن التخلص منها في مكبات المخلفات البلدية يعتبر مشكلة بيئية كونها تأخذ حيزاً

كبيراً من حجم المكب وتعيق عملية تخمر المخلفات وتقلل من العمر الافتراضي للمكب. تهدف هذه الدراسة إلى اقتراح المواقع المثلى لمراكز إعادة تدوير مخلفات الـ C&D والمكبات الخاصة بها، للمدن المتعرضة لأزمات باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) اعتماداً على جملة من المعايير، تم وضعها ضمن سياق البحث لهذا الغرض وتطبيقها على محافظة حمص.

طرائق البحث ومواده:

1. توصيف حالة الدراسة (محافظة حمص):

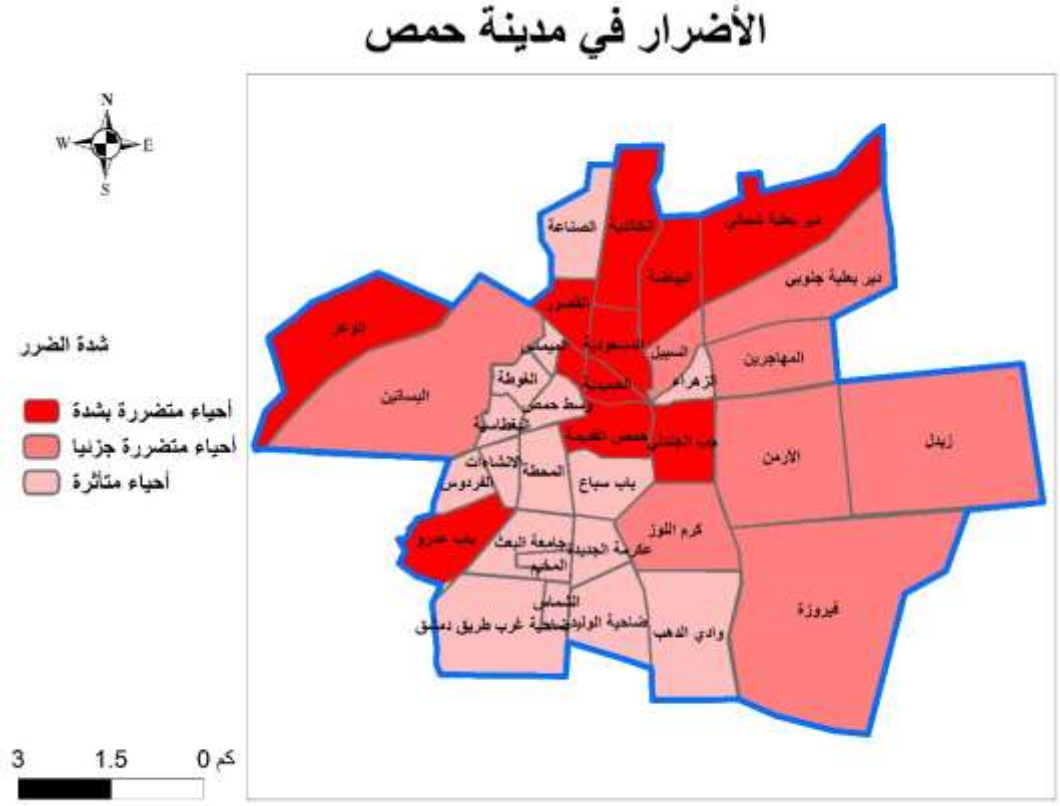
تتوسط محافظة حمص سوريا، الشكل (1)، واصلة المحافظات والمدن الجنوبية بالمحافظات والمدن الساحليّة والشماليّة والشرقية، تبلغ مساحة محافظة حمص (42226 كم²) وتبلغ مساحة المدينة (10,000 كم^2) التي تعرض معظم أحيائها للضرر إذ يبلغ عدد الأحياء الكلية 36 حياً. تفاوتت نسبة الضرر فيما بينها كما هو موضح في الشكل(2). كما يوضح الجدول (1) عدد المباني المدمرة في كل من المحافظة والمدينة.



الشكل (1) خريطة تبين سورية ومنطقة الدراسة: محافظة حمص

الجدول (1) عدد المباني المتضررة في حمص المحافظة والمدينة (Humanitarian Data Exchange Platform,2014).

	شدة الضرر	محافظة حمص	مدينة حمص
عدد المباني المتضررة	مدمر	3082	1431
	متضرر بشكل شديد	5750	4551
	متضرر بشكل معتدل	4946	4047
		13778	10029



الشكل (2) توزع شدة الضرر في أحياء حمص (مكتب التخطيط الإقليمي في محافظة حمص، إعداد الباحث)

لذلك كان لابد من تحديد مواقع مناسبة لترحيل مخلفات الـ C&D لمعالجتها والتخلص منها في محافظة حمص، وذلك عن طريق تحديد المعايير الواجب أخذها بعين الاعتبار وتثقيلها اعتماداً على آراء الخبراء وباستخدام برنامج الـ Arc-GIS، وذلك وفق الخطوات المبينة في الشكل (3).

الشكل(3) مخطط منهجية الدراسة

2. تحديد معايير اختيار المواقع المثلى لمراكز إعادة تدوير مخلفات الهدم والبناء والمكبات الخاصة بها

بناء على الدراسات المرجعية السابقة وخصوصية حالة الدراسة ومراجعة الخبراء في مجال المخلفات الصلبة فإن المعايير المبدئية التي سيتم دراستها في اختيار موقع مكب مخلفات الهدم والبناء في محافظة حمص هي:

1- البعد عن المراكز الحضرية: ينبغي عدم وضع موقع مراكز إعادة التدوير والمكبات الخاصة بمخلفات الهدم والبناء بالقرب من المراكز الحضرية، لتجنب التأثير سلباً على قيمة الأرض والتنمية المستقبلية وذلك من أجل الحفاظ على البيئة المحيطة والمرافق الحيوية التي تخدم المنطقة مستقبلاً (Issa and Shehi , 2012). تم الحصول على هذه البيانات من الهيئة العامة للاستشعار عن بعد فرع حمص.

2- البيانات المائية (أنهار): على الرغم من أن مخلفات الهدم والبناء تعتبر مخلفات خاملة إلّا أنها قد تشكل تهديداً طويل الأمد للمناطق المتصلة هيدرولوجياً (Madi and Srour,2019). تم اشتقاق الشبكة المائية من ملف الارتفاع الرقمي الصادر عن وكالة ناسا الأميركية – القمر الصناعي (aster) لعام 2020م بدقة مكانية 30*30 م.

3- مؤشر الغطاء النباتي (NDVI): مؤشر رقمي يقيم ما إذا كان الهدف المرصود يشمل نباتات خضراء حية أم لا، تتراوح قيمته بين [1,+1-] يعتمد على نطاقات الأشعة الحمراء المرئية (RED) والقريبة من تحت الحمراء (NIR) (Madi and Srour, 2019) يفضل وضع مراكز إعادة التدوير والمكبات الخاصة بمخلفات الهدم والبناء في مناطق جرداء خالية من الغطاء النباتي. تم الحصول عليها عبر تحميل مرئيات من القمر الصناعي Landsat 8 OLI (EarthExplorer).

4- الانحدار: تلعب طبوغرافية المنطقة دوراً أساسياً في أي دراسة مكانية كونها تسهل دراسة مختلف الخدمات وإنجاز التجهيزات في مواقع مناسبة طبوغرافيا (Madi and Srour, 2019). تم اشتقاقها من نموذج الارتفاع الرقمي.

5- المناطق الأثرية: ينبغي عدم وضع مكب المخلفات في مناطق قريبة من المواقع السياحية والأثرية (Issa and Shehi , 2012). تم الحصول على البيانات من مكتب التخطيط الإقليمي في محافظة حمص.

6- شبكة الطرق الرئيسة: ينبغي ألّا يكون موقع مركز إعادة التدوير والمكب قريباً جداً من شبكة الطرق الرئيسة للحفاظ على جمالية المنطقة، وغير بعيد جداً عن شبكة الطرق الموجودة لتجنب التكلفة الإضافية لإنشاء الطرق التي تصل إليها (Issa and Shehi, 2012). تم الحصول على البيانات من مكتب التخطيط الإقليمي في محافظة حمص.

7- القرب من الأماكن المتضررة: كلما كانت مراكز إعادة تدوير مخلفات الهدم والبناء ومكباتها قريبة من المناطق المتضررة كلما كان ذلك أفضل. تم في هذه البحث دراسة حالتين؛ الأولى: الأماكن المثلى لاختيار مواقع إنشاء مراكز إعادة تدوير ثابتة لمعالجة مخلفات الهدم والبناء والمكبات الخاصة بها حيث تم أخذ الحدود الإدارية لمدينة حمص كحد فاصل. أما الحالة الثانية فهي إنشاء مراكز إعادة تدوير متنقلة لمعالجة هذه المخلفات حيث تم أخذ حدود المخطط التنظيمي لأحياء مدينة حمص كحد فاصل. تم الحصول على البيانات من مكتب التخطيط الإقليمي في محافظة حمص.

3. إنشاء قاعدة بيانات تتضمن الخرائط المتعلقة بالمعايير المطلوبة وإعادة تصنفيها باستخدام برنامج (Arc-GIS)

تم في هذه المرحلة جمع معلومات عن المعايير المختارة. تعد هذه أهم خطوة في بناء قاعدة بيانات جغرافية لنحصل على الخرائط المطلوبة، الشكل (4) إلى الشكل (11). تتمثل هذه البيانات في:

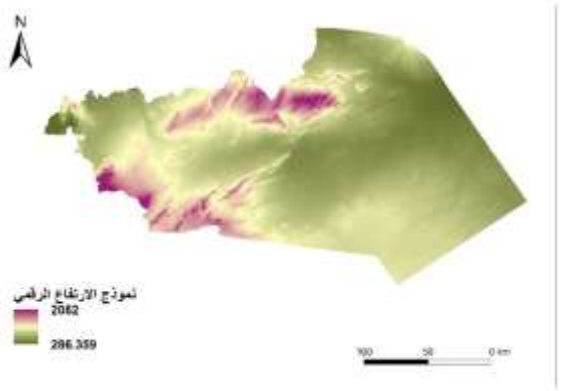
1- بيانات مكانية:

- نقطية (Point): تتمثل بطبقة المناطق السكنية، المواقع السياحية.

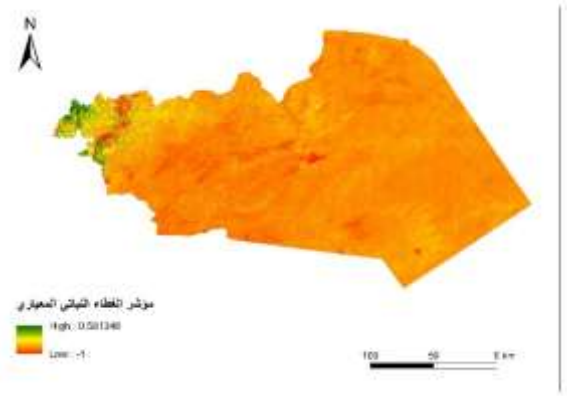
- خطية (Line): تتمثل بطبقة الطرق والبيانات المائية (الأنهار).
- مضلعات (Polygons): تتمثل بطبقة القرب من الأماكن المتضررة.
- الملفات الشبكية (Raster): تتمثل بطبقة الانحدار والغطاء النباتي.

2- بيانات وصفية: تتضمن معلومات غير مكانية، مثل أسماء الأحياء في مدينة حمص.

تم التعامل مع نظام الإحداثيات المترية (Projected Coordinate System) بما يناسب موقع الجمهورية العربية السورية.



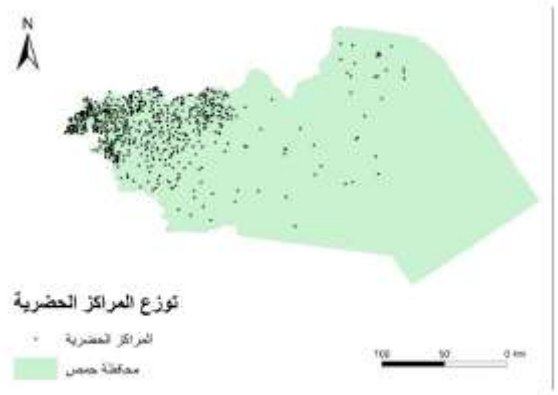
الشكل(4) طبقة الارتفاع الرقمي



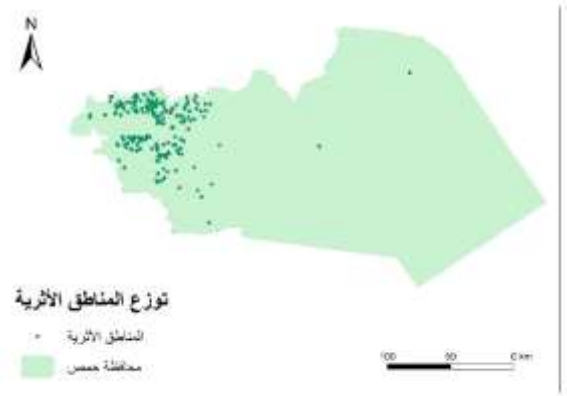
الشكل(5) طبقة مؤشر الغطاء النباتي المعياري

الشكل (6) طبقة الشبكة المائية

الشكل (7) طبقة الطرق الرئيسة



الشكل (8) طبقة توزع المراكز الحضرية



الشكل (9) طبقة توزع المناطق الأثرية

الشكل (10) الحدود الإدارية لمدينة حمص

الشكل (11) حدود المخطط التنظيمي للأحياء مدينة حمص

تم القيام بتحضير جميع الخرائط المطلوبة للدراسة بصيغتها النقطية، والخطية، والشبكية وتحويلها إلى الصيغة الشبكية وذلك من خلال الأوامر التالية:

المعايير المرتبطة بالمسافات: (الشبكة المائية، شبكة الطرق الرئيسية، القرب من الأماكن المتضررة، المراكز الحضرية، المناطق الأثرية).

Spatial analyst tool ⟹ Distance ⟹ Euclidean distance

المعايير غير مرتبطة بالمسافات:

الانحدار: تم الحصول على طبقة الانحدار من طبقة نموذج الارتفاع الرقمي عبر الأمر

3D analyst tools ⟹ Raster surface ⟹ Slope

مؤشر الغطاء النباتي:

بعد تحميل المرئيات الفضائية Landsat OLI 8 ل عام 2020م التي تغطي منطقة الدراسة (محافظة حمص) ومعالجتها وإخضاعها للتصحيح الهندسي وفق المسقط المتري وتطبيق معادلة مؤشر NDVI:

$$NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4)$$

خضعت بعدها الطبقات إلى عملية إعادة التصنيف حسب ملائمة الموقع وفقاً لكل معيار وذلك عبر تقسيم كل طبقة إلى 5 فئات تعطى فيها المناطق الملائمة بشدة 5 وغير الملائمة 1 وفق الجدول (2)، وذلك عبر أمر Reclassify

Spatial analyst tool ⟹ Reclass ⟹ Reclassify

الجدول (2) إعادة تصنيف طبقات المعايير المدروسة.

المصدر: إعداد الباحث حسب استشارة الخبراء في مجال البيئة وإدارة المخلفات الصلبة

الوصف	درجة الملائمة المكانية	التقييم	التصنيف	المعيار
تفضل المناطق القليلة الانحدار	الأكثر ملائمة	5	0-5%	الانحدار
	ملائمة	4	5-10%	
	متوسطة الملائمة	3	10-15%	
	أقل ملائمة	2	15-20%	
	غير ملائمة	1	>20%	
تفضل المناطق الجرداء	الأكثر ملائمة	5	<0.1	مؤشر الغطاء النباتي
	ملائمة	4	0.1-0.2	
	متوسطة الملائمة	3	0.2-0.3	
	أقل ملائمة	2	0.3-0.4	
	غير ملائمة	1	>0.4	
تفضل الأراضي البعيدة عن الأنهار	غير ملائمة	1	0-500 m	البعد عن الأنهار
	أقل ملائمة	2	500-1000 m	
	متوسطة الملائمة	3	1000-1500 m	
	ملائمة	4	1500-2000 m	
	الأكثر ملائمة	5	>2000m	
تفضل الأراضي البعيدة عن المناطق السكنية	غير ملائمة	1	0-1500 m	البعد عن المناطق السكنية
	أقل ملائمة	2	1500-3000 m	
	متوسطة الملائمة	3	3000-4500 m	
	ملائمة	4	4500-6000 m	
	الأكثر ملائمة	5	>6000 m	
تفضل الأراضي البعيدة من المناطق السياحية	غير ملائمة	1	0-1500 m	البعد عن المناطق السياحية
	أقل ملائمة	2	1500-3000 m	
	متوسطة الملائمة	3	3000-4500 m	
	ملائمة	4	4500-6000 m	
	الأكثر ملائمة	5	>6000 m	
تفضل الأراضي القريبة من الطرق	غير ملائمة	1	0-500 m	البعد عن شبكة الطرق
	أقل ملائمة	2	500-1000 m	
	الأكثر ملائمة	5	1000-1500 m	
	ملائمة	4	1500-2000 m	
	متوسطة الملائمة	3	>2000 m	
تفضل الأراضي القريبة من المناطق المتضررة	الأكثر ملائمة	5	0-3000 m	القرب عن المناطق المتضررة
	ملائمة	4	3000-6000 m	
	متوسطة الملائمة	3	6000-9000 m	
	أقل ملائمة	2	9000-12000 m	
	غير ملائمة	1	>12000 m	

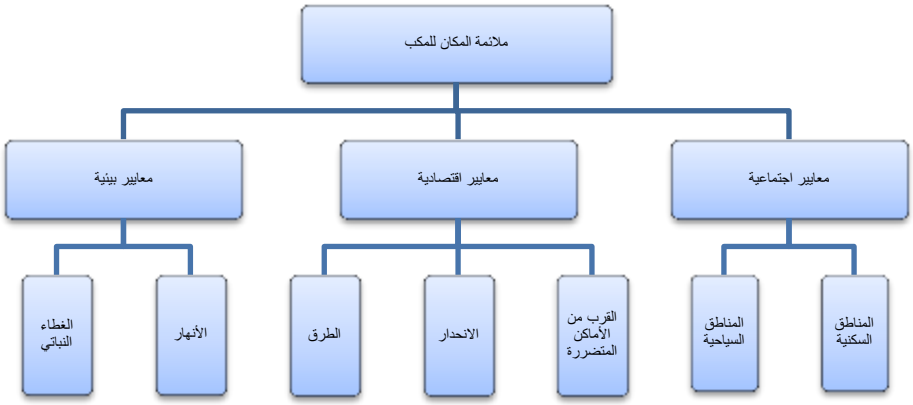
4. توزين المعايير (عملية التحليل الهرمي)

يتطلب اختيار الموقع الأمثل لمراكز إعادة تدوير مخلفات الهدم والبناء ومكباتها تطبيق نهج تحليل القرار متعدد المعايير وطريقة التحليل المكاني لعملية صنع القرار. إن المعايير التي يتم تقييمها في عملية اختيار الموقع المناسب لها درجة تأثير غير متكافئة، وبالتالي يجب تحديد الأهمية النسبية لكل معيار بالنسبة للآخر، وذلك لتحديد درجة تأثير كل معيار في اختيار موقع المكب. تم اقتراح عدد من الإجراءات لتعيين وزن للمعايير ويعد التحليل الهرمي أكثر وسائل التقييم متعدد المعايير شمولاً (Kebede et al., 2021). والتي تعتمد توظيف الأساليب الكمية في عملية اتخاذ القرار الخاص بانتقاء البديل الأمثل بين مجموعة من البدائل وفق معايير متعددة. وقد طورت هذه النظرية من قبل البروفسور توماس ساعاتي وهو عالم متخصص في العلوم الرياضية والذي عرفها بأنها نظرية بناء المؤشرات باستخدام المقارنات الثنائية التي تعتمد رأي الخبراء ومتخذي القرار في حدود مقياس محدد (Abo Watfeh, 2014).

يعرف وزن المعيار بأنه القيمة المخصصة التي تشير إلى أهميته بالنسبة إلى المعايير الأخرى قيد الدراسة. إن حساب الوزن للمعايير باستخدام طريقة المقارنة الثنائية له مزايا هي أنه يجب النظر في معيارين في وقت واحد والذي يمكن تنفيذه في بيئة جداول البيانات، ويتم دمجه في إجراءات صنع القرار القائمة على نظام المعلومات الجغرافية. (Alanbari et al., 2014)

1.4.2. خطوات عملية التحليل الهرمي

a- بناء الشكل الهرمي



الشكل (12) النموذج العام لعملية التحليل الهرمي للمعايير

b- تحديد الأولويات

تم تحديد أي من المعيارين هو الأكثر أهمية وذلك حسب آراء الخبراء، ثم إعطاء الدرجة المخصصة لإظهار مدى أهميته (Sener, 2004)، وذلك حسب المقياس الذي اقترحه ساعاتي المبين في الجدول (3) والغاية منه تحديد الأولوية النسبية بين معيارين.

الجدول (3) مقياس المقارنات الزوجية (Saaty, 1980)

القيمة الرقمية	1	2	3	4	5	6	7	8	9
الحكم اللفظي للأولوية	متساوي الأهمية	مهم بشكل متساوي إلى متوسط	مهم بشكل متوسط	مهم من متوسط إلى مهم جداً	مهم جداً	مهم جداً إلى مهم بشدة	مهم بشدة	مهم بشدة إلى مهم تماماً	مهم تماماً

تشير مصفوفة المقارنة الثنائية المتمثلة في الجدول (4) إلى الأهمية النسبية للمعيار في الأعمدة مقارنة بالمعيار في الصفوف.

الجدول(4) مصفوفة المقارنة الثنائية

		البعد عن المناطق السكنية	البيانات المائية	الغطاء النباتي	الانحدار	مناطق سياحية	شبكة الطرق	القرب من الأماكن المتضررة
البعد عن المناطق السكنية	الخبير 1	1	2	2	1	2	1/2	1
	الخبير 2	1	2	4	1	2	2	1/2
	الخبير 3	1	3	3	2	3	1/2	1/2
البيانات المائية	الخبير 1	1/2	1	1/2	1/3	1/3	1/5	1/4
	الخبير 2	1/2	1	1	1/2	2	1/3	1/3
	الخبير 3	1/3	1	1	2	2	1/3	1
الغطاء النباتي	الخبير 1	1/2	2	1	3	4	1/2	1/3
	الخبير 2	1/4	1	1	1/3	1/2	1/3	1/3
	الخبير 3	1/3	1	1	3	3	1/2	1/2
الانحدار	الخبير 1	1	3	1/3	1	1/3	1/2	1/5
	الخبير 2	1	2	3	1	3	2	2
	الخبير 3	1/2	1/2	1/3	1	2	1	2
المناطق السياحية	الخبير 1	1/2	3	1/4	3	1	1/2	1/3
	الخبير 2	1/2	1/2	2	1/3	1	1	2
	الخبير 3	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1/3	1/2
شبكة الطرق	الخبير 1	2	5	2	2	2	1	1/3
	الخبير 2	1/2	3	3	1/2	1	1	1
	الخبير 3	2	3	2	1	3	1	1/3
القرب من الأماكن المتضررة	الخبير 1	1	4	3	5	3	3	1
	الخبير 2	2	3	3	1/2	1/2	1	1
	الخبير 3	1	1	2	1/2	2	1	1

c- حساب الأولويات:

ويقصد بها استخدام المعلومات في مصفوفة المقارنة الثنائية من أجل تقدير الأوزان لكل عنصر كمخرجات. يوجد لذلك عدة طرق تم القيام باستخدام طريقة التقريب حيث تجمع قيم كل عمود في مصفوفة المقارنة الثنائية لنحصل على مجموع العمود ونقوم بتعديل مصفوفة المقارنة الثنائية بقسمة كل عنصر من عناصرها على مجموع العمود الموجود فيه لنحصل على مصفوفة المقارنة المعدّلة، ومن بعدها الحصول على أوزان المعايير المتمثلة في الجدول (5).

الجدول (5) أوزان معايير الدراسة

البعد عن المناطق السكنية	17.01
البيانات المائية	9.57
الغطاء النباتي	11.12
الانحدار	14.85
مناطق سياحية	9.15
شبكة الطرق	17.23
القرب من الأماكن المتضررة	20.83

d- قياس الثبات (عدم التناقض):

من الضروري أن يتواجد درجة معينة من الثبات في حساب الأولويات للعناصر من أجل الحصول على نتائج منطقية على أرض الواقع. تقيس عملية التحليل الهرمي الثبات الكلي للأحكام بطريقة حساب نسبة الثبات Consistency Ratio (CR)، التي لا يجب أن تتجاوز 10% والتي كلما اقتربت من الصفر كانت الأحكام تتصف بالثبات، وذلك من خلال حساب مؤشر الثبات Consistency index (CI) عبر المعادلة التالية:

$$CI = (\lambda - n) / (n-1)$$

λ: القيمة الوسطية لمؤشر الثبات (ناتج جمع جداء مجموع كل عمود بمجموع الصف المقابل له)

n: عدد عناصر مصفوفة المقارنة

بعد الحصول على قيمة مؤشر الثبات (CI) يجب قسمتها على قيمة المؤشر العشوائي (RI Random index) المتمثلة في الجدول (6) من أجل التعرف على نسبة الثبات (CR):

$$CR = CI / RI$$

الجدول(6) قيم مؤشر الثبات العشوائي (Saaty, 1980)

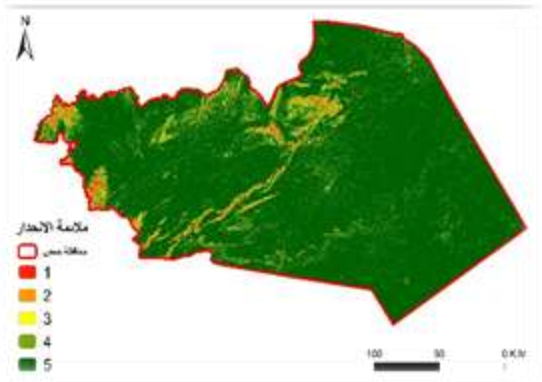
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

أظهرت النتائج اتساق الأحكام للمعايير المدروسة وفق نسب الثبات التالية 0.0986، 0.0931، 0.084 للخبراء الثلاثة على التوالي. وتتسم هذه القيم بالاتساق كونها جميعاً أصغر من 0.1.

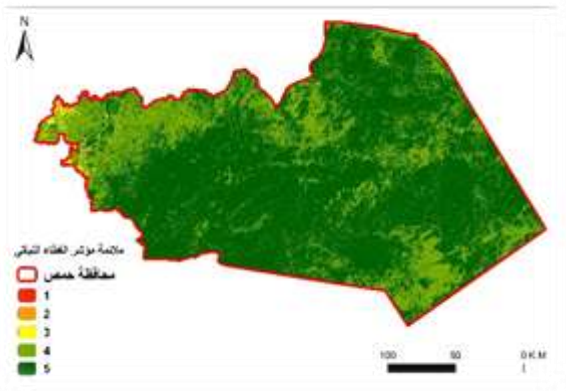
النتائج والمناقشة:

تم في هذه الدراسة تقييم مدى ملاءمة الأرض لاختيار مواقع مراكز إعادة تدوير مخلفات البناء والهدم C&D ومكبات خاصة بها باستخدام منهجية تحليل القرار المتعدد المعايير القائم على نظم المعلومات الجغرافية. تم اختيار 7 معايير (بيئية، اقتصادية واجتماعية). تم اشتقاق طبقة البيانات الخاصة بهم من المصادر المتوفرة ومن ثم إعادة تصنيفها وتوزينها وتجميعها للحصول على خريطة الملاءمة النهائية.

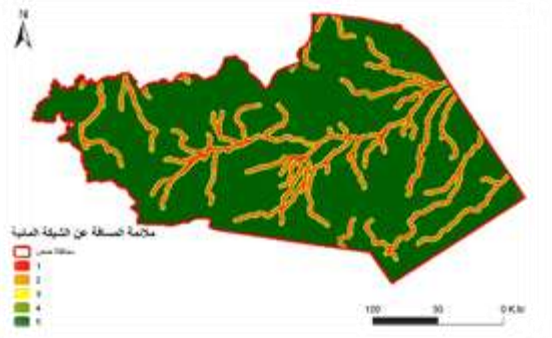
بالاعتماد على جدول إعادة التصنيف، الجدول (2)، وعلى الأوامر السابقة الذكر في برنامج ArcMap 10.2.2 تم الحصول على النتائج التالية، من الشكل (13) إلى الشكل (20)، التي تمثل تحليل مدى ملاءمة الأرض لكل معيار من المعايير. بعد ذلك، تم إجراء طريقة المقارنة الزوجية لتحليل الوزن لكل معيار باستخدام عملية التحليل الهرمي AHP حيث تم الحصول على الأوزان المتمثلة بالجدول (5).



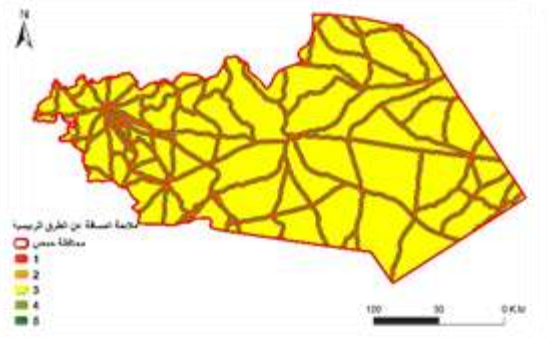
الشكل(13) ملاءمة الموقع حسب الانحدار



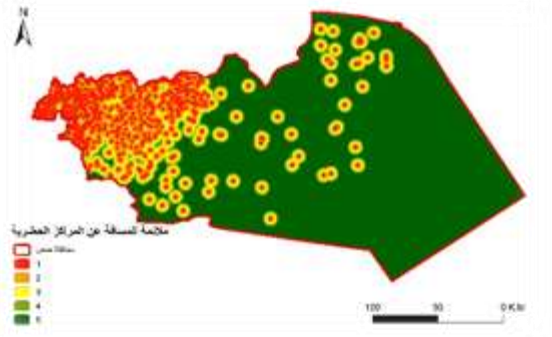
الشكل(14) ملاءمة الموقع حسب مؤشر الغطاء النباتي



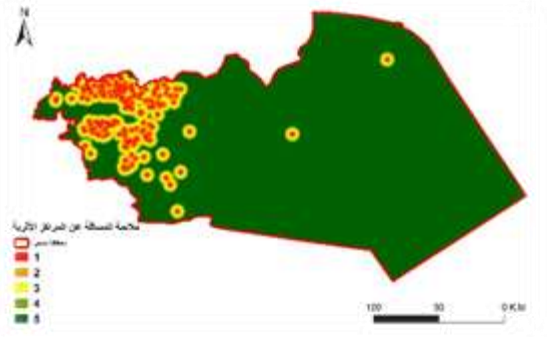
الشكل (15) ملاءمة الموقع حسب البعد عن الشبكة المائية



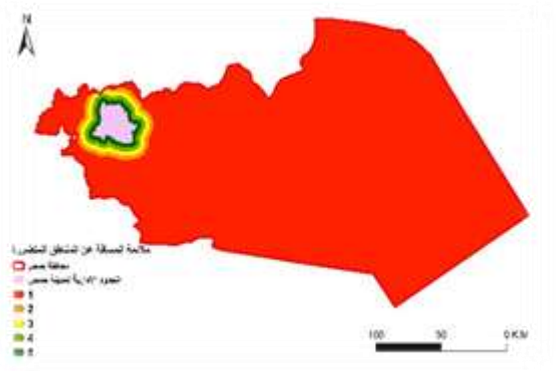
الشكل (16) ملاءمة الموقع حسب البعد عن الطرق الرئيسية



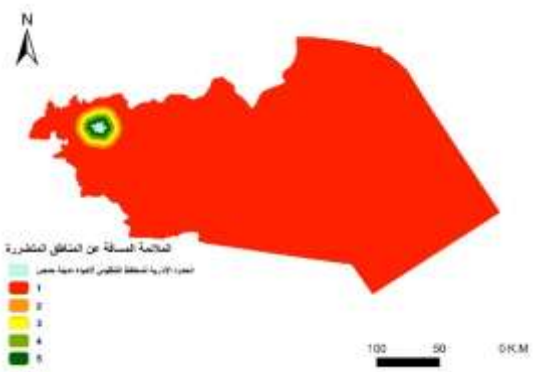
الشكل (17) ملاءمة الموقع حسب البعد عن المراكز الحضرية



الشكل (18) ملاءمة الموقع حسب البعد عن المراكز الأثرية

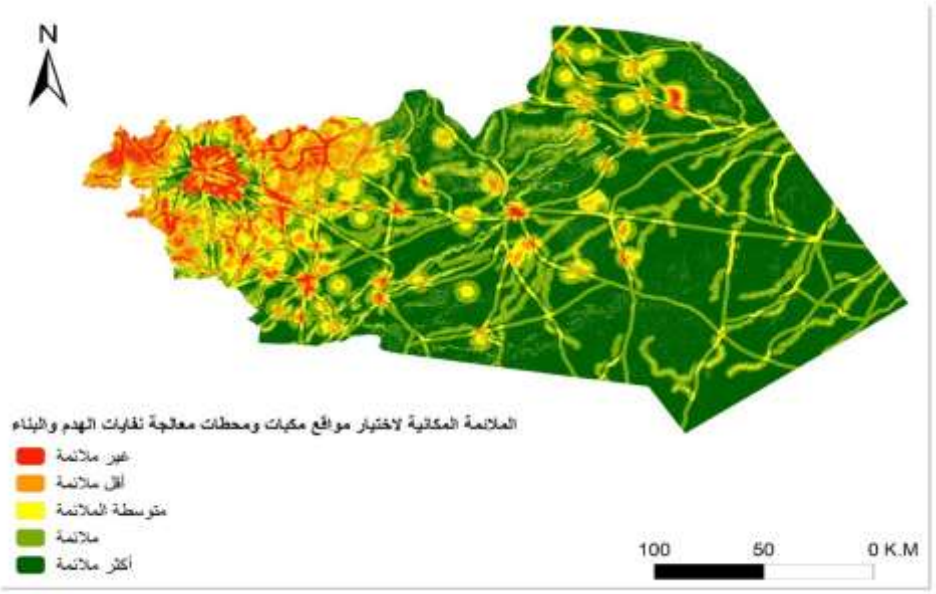


الشكل (19) ملاءمة الموقع حسب البعد عن الحدود الإدارية لمدينة حمص

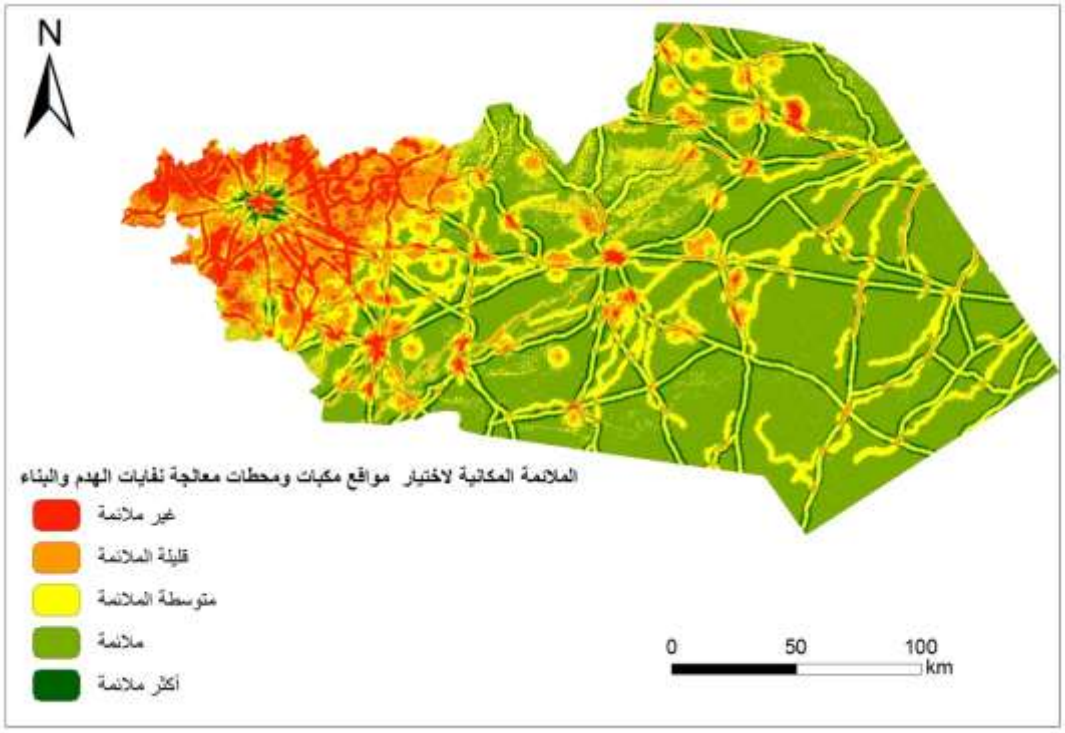


الشكل (20) ملاءمة الموقع حسب البعد عن حدود المخطط التنظيمي للأحياء

تم الحصول على خريطة الملائمة النهائية لمواقع مراكز إعادة التدوير الثابتة ومواقع المكبات من خلال تراكب جميع الطبقات الخاصة بالمعايير في نظم المعلومات الجغرافية عبر عملية الجمع الجبري وضرب كل معيار بوزنه الناتج، الشكل (21)، حيث أخذت الحدود الإدارية لمدينة حمص كحد فاصل لتوضعها، وخريطة الملائمة المكانية لمواقع مراكز إعادة التدوير المتحركة حيث أخذت حدود المخطط التنظيمي لأحياء مدينة حمص كحد فاصل لتوضعها، الشكل (22). تبين خريطة النتيجة المناطق الملائمة لاختيار مكبات مخلفات الهدم والبناء وفق 5 درجات ملاءمة { الأكثر ملاءمة (5)، ملائمة (4)، متوسطة الملاءمة (3)، أقل ملاءمة (2)، غير ملائمة (1) }، حيث تبين أن معظم المناطق الداخلية الشرقية في محافظة حمص أخذت الوصف الأكثر ملائمة لأن كل المعايير باستثناء القرب من الأماكن المتضررة لكنها غير مجدية اقتصادياً مقارنة بالمناطق الأكثر ملائمة الواقعة بالقرب من المدينة والتي تم التركيز عليها كما في الشكلين (23) و(24).



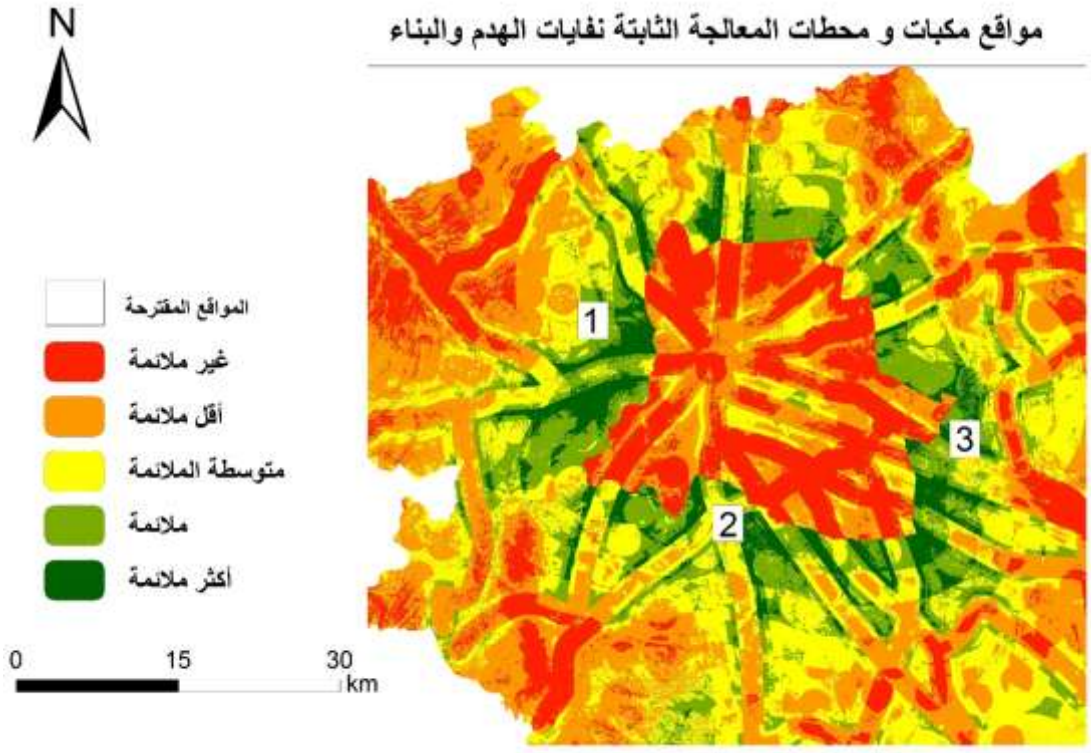
الشكل (21) الملاءمة المكانية لاختيار مواقع مراكز إعادة التدوير الثابتة والمكبات الخاصة بمخلفات الهدم والبناء



الشكل (22) الملاءمة المكانية لاختيار مواقع مراكز إعادة التدوير المتحركة الخاصة بمخلفات الهدم والبناء

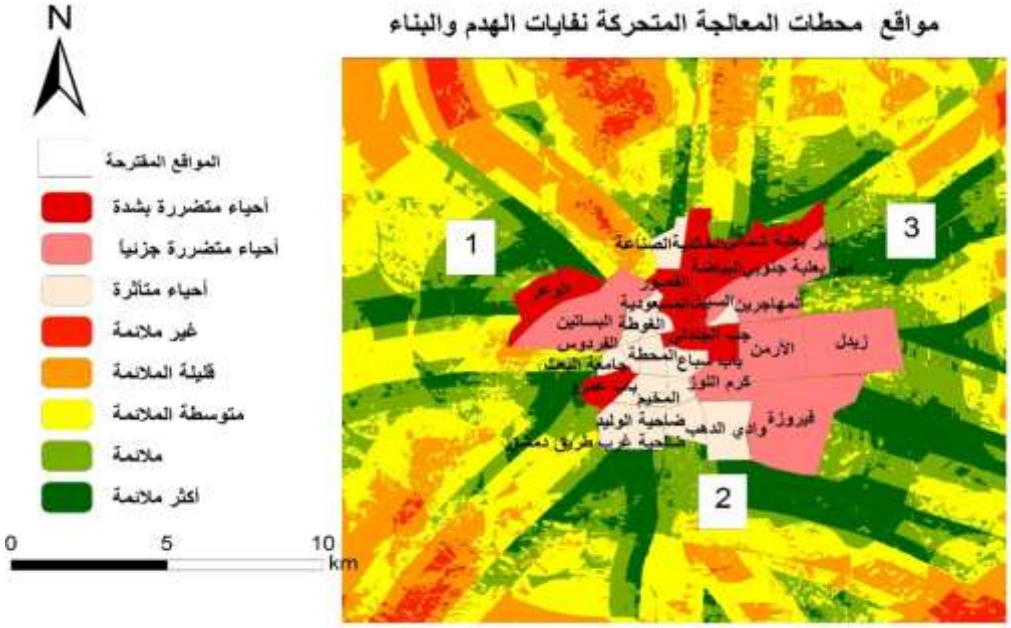
تم اختيار المواقع التالية كأنسب المواقع لاختيار أفضل الأراضي لإنشاء مراكز إعادة التدوير الثابتة لمخلفات الهدم والبناء الشكل (23)، والمواقع الموضحة في الشكل (24) كأفضل مواقع للعمل بها كمواقع لمراكز إعادة تدوير متحركة لمخلفات الهدم والبناء وذلك مع مراعاة أماكن توضع المناطق الأكثر ضرراً، حيث قمنا باقتراح ثلاث مواقع تغطي مدينة حمص.

بلغت نسبة مساحة الأراضي الأكثر ملائمة لإنشاء مراكز إعادة تدوير ثابتة والمكبات الخاصة بها ضمن نطاق 35 كم عن مركز مدينة حمص 13.79%، والأراضي الملائمة 26.14%، الأراضي متوسطة الملائمة 25.9%، الأراضي قليلة الملائمة 23.5% والأراضي الغير ملائمة 11 %.



الشكل (23) المواقع المختارة لمراكز إعادة التدوير الثابتة والمكبات الخاصة بمخلفات الهدم والبناء

بلغت نسبة مساحة الأراضي الأكثر ملائمة لإنشاء مراكز إعادة تدوير متحركة ضمن نطاق 20 كم عن مركز مدينة حمص 9.33%، والأراضي الملائمة 20.77%، الأراضي متوسطة الملائمة 30.17%، الأراضي قليلة الملائمة 28.11% والأراضي الغير ملائمة 11.5%.



الشكل (24) المواقع المختارة لمراكز إعادة التدوير المتحركة الخاصة بمخلفات الهدم والبناء

الاستنتاجات والتوصيات:

بناء على الدراسة العملية والنظرية في هذا البحث تم استنتاج ما يلي:

1-أظهرت الدراسة نجاح استخدام التحليل الهرمي كأداة اتخاذ قرار متعدد المعايير في دراسة المواقع المثلى لمراكز إعادة تدوير نفايات الهدم والبناء وقد تبين بحسب آراء الخبراء أن الأهمية القصوى أعطيت للعوامل الاقتصادية مع مراعاة العوامل البيئية والاجتماعية، وذلك نظراً لخصوصية حالة الدراسة وكمية مخلفات الهدم والبناء الكبيرة الناتجة عن الحرب.

2-توفر بيئة الـ GIS بيئة تحليلية جيدة جداً للاختيار متعدد المعايير كما هي حالة مراكز إعادة تدوير نفايات الهدم والبناء في حال توفرت بيانات المعايير المدروسة بدقة وتم إدخالها بشكل صحيح إلى بيئة البرنامج. تشير خريطة الملاءمة إلى أن معظم الأراضي الداخلية لمحافظة حمص تحقق الملاءمة لكنها غير مجدية اقتصادياً. بالمقابل، فإن الأراضي الأكثر ملاءمة لاختيار مواقع مراكز إعادة تدوير الثابتة والمكبات الخاصة بها محدودة قليلاً، حيث بلغت نسبة مساحة الأراضي المجاورة لمدينة حمص ضمن نطاق 35 كم عن مركز المدينة والملائمة جداً للاستخدام 13.8% و26.1% ملائمة. وكذلك الأراضي الأكثر ملائمة لاختيار مواقع مراكز إعادة التدوير المتحركة لمخلفات الهدم والبناء القريبة من حدود المخطط التنظيمي لأحياء مدينة حمص بلغت نسبة مساحتها 9.34% والأراضي الملائمة 20.77% ضمن حدود 20 كم عن مركز المدينة.

يوصي البحث بما يلي:

1- تشجيع أصحاب القرار في المجال البيئي والتخطيط على اتباع الأسس والمعايير المناسبة لاختيار أماكن مرافق معالجة مخلفات الهدم والبناء والمكبات الخاصة بها والأخذ بعين الاعتبار ما تذكره الدراسات من شروط ومعايير لاختيار أفضل الأماكن للغاية المطلوبة، وعلى القيام بدراسات مماثلة في هذا المجال في بقية المحافظات السورية اعتماداً على نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

2- إنشاء قاعدة بيانات جغرافية تفصيلية لكل المعايير التي يمكن أن تتأثر بإنشاء مراكز إعادة تدوير مخلفات الهدم والبناء وتسهيل الحصول على هذه البيانات من قبل الباحثين والعاملين في مجال إعادة الإعمار.

3- يوصى بدراسة الجدوى الاقتصادية للبدائل المختلفة من مراكز إعادة التدوير سواء الثابتة أو المتحركة من حيث الكفاءة، الحجم والموقع.

References:

-Abo Watfeh H. Using Analytic hierarchy process for prioritizing industrial sector in Palestine to achieve sustainable development. Master thesis. Department of development economic, faculty of commerce, Islamic university: Ghazza, 2014.

-Al Rehaily O. Using of geographic information systems of choose the safest burial sites of hazardous waste in Medinah alMonawarah. Journal of Arts & Social Sciences. Sultan Qaboos University.2017

-Alanbari M.; Al-ansari N.; Jasim H. *GIS and Multicriteria Decision Analysis for Landfill Site Selection in Al-Hashimyah Qadaa***.** Natural Science. Vol.6, 2014, pp 282-304.

-Calvo N.; Varela Candamio L.; Novo-corti I. *A Dynamic Model for Construction and Demolition (C&D) Waste Management in Spain: Driving Policies Based on Economic Incentives and Tax Penalties*. Sustainability. 2014

- Ding Z.; Zhu M.; Wu Z.; Fu Y.; Liu X. *Combining AHP-Entropy approach with GIS for construction waste landfill selection—a case study of Shenzhen.* International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018.
- Faleschini F.; Zanini M.; Hofer L.; Zampieri P.; and Pellegrino C.*Sustainable management of demolition waste in post-quake recovery processes: The Italian experience***.** International Journal of Disaster Risk Reduction. Vol. 24, 2017, pp 172–182.
-Hamod R. Assessment of the dump sites in tartous governorate by using GIS. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies. Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (3) 2016. PP:513-528.
- Humanitarian Data: OCHA launches ground-breaking data exchange platform. (2014). July 15 Retrieved from UNOCHA: http://www.unocha.org/top-stories/all-stories/ humanitarian-data-ocha-launches-ground-breaking-data-exchange-platform.
-Issa M. S. and Al shehhi B.*A GIS-Based muliti-criteria evaluation system for selection of landfill sites: a case study from Abu Dhabi*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September, Melbourne, Australia. 2012
-kebede Y.; Alene M.; Endalemaw N. *Urban landfill investigation for managing the negative impact of solid waste on environment using geospatial technique. A case study of Assosa town, Ethiopia.* Environmental Challenges Vol 4. 2021.
-Karunasena G.; Amaratunga D.; and Haigh R. *Post-disaster construction & demolition debris management: a Sri Lanka case study*. Journal of Civil Engineering and Management. Vol 18, 2012, pp 457-468.
- Madi N and Srour I. *Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS.* Resources, Conservation & Recycling .Vol 141, 2019, pp 163–175.
-Marzouk M. and Azab S. *Environmental And Economic Impact Assessment Of Construction And Demolition Waste Disposal Using System Dynamics* , Journal Of Resources , Conservation And Recycling , vol 82, 2014, pp 41-49.
-Mohammad A. A. *GIS And Remote Sensing Based Suitable Site Selection For Solid Waste Disposal: A Case Study Of Asatia Town, Afar Regional State, Ethiopia.* Master Thesis, Collage of Natural and Computational science, Addis Ababa University. 2016.
-Paz D.H.F; Lafayette K.P.V; Sobral M.C.M. *Management of construction and demolition waste using GIS tools.* Advances in Construction and Demolition Waste Recycling. 2020.
- Sener B. *Landfill Site Selection by Using Geographic Information Systems* .Master thesis, Middle East Technical University, Turkey. 2004.
-Sener S.; Sener E.; Nas B.; Karaguzel R. *Combining AHP with GIS for landfill site selection: Acase study in the Lake Beys_ehir catchment area (Konya, Turkey).* Waste Management. Vol 30, 2010, pp 2037–2046.
- Tiwary A. *Landfill volume gain from the diversion construction and demolition waste*. Master thesis, University of Texas at Arlington, USA. 2016.
-T. SAATY, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill International, New York,