الاستخدام المدمج لنظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وطريقة التحليل الهرمي (AHP)، لاختيار الموقع الأمثل لمحطة تجميع وفرز نفايات البناء والهدم – حالة دراسة: محافظة اللاذقية

م.زهير ميهوب* أ.د.عبد الحكيم بنود** أ.د.هيثم شاهين *** أ.د.فاطمة الصالح ****

(الإيداع: 18 آيار 2025، القبول : 9 آيلول 2025)

الملخص:

إن زيادة كميات مخلفات أنقاض البناء والهدم بشكلٍ كبير، وغياب إدارة فاعلة لها، خاصة في البلدان النامية، شكّل مصدراً لقلق الباحثين ومتخذي القرار في معظم أنحاء العالم. فقد باتت هذه الأنقاض، تشكل نسبة كبيرة من المخلفات الصلبة نتيجة التطور العمراني من جهة، والحروب والكوارث المدمرة من جهة أخرى. في هذه الدراسة تم توجيه الاهتمام نحو مشكلة تراكم نفايات البناء والهدم (C&D)، واقترحت الدراسة اختيار موقع لإنشاء محطة ثابتة لتجميع وفرز هذه النفايات، بدلاً من إلقائها في المكبات العشوائية ومواقع البناء للاستفادة منها بالشكل الأمثل. وبسبب عدم وجود معايير معتمدة في سورية لهذا النوع من المحطات، فقد تم الاعتماد في اختيار المعايير على الدراسات السابقة والمشابهة لهذه الدراسة وآراء الخبراء العاملين في مجال معالجة وإدارة النفايات. وقد تم اعتماد ثمانية معايير، راعت الجوانب البيئية (الغطاء النباتي، اتجاه السفوح الجبلية والرياح السائدة، المسافة عن الأنهار، المسافة عن خط الشاطىء) والاجتماعية (التجمعات السكانية، المراكز الأثرية والسياحية) والاقتصادية (ميول الأرض أو الانحدار، شبكة الطرق الرئيسية)، وقد تم اختيار هذه المعايير وتثقيلها باستخدام تقنية تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA)، وتحديداً عملية التحليل الهرمي (AHP)، وذلك بالاستعانة بخمسة آراء من الخبراء العاملين في مجال الإدارة البيئية، وتم دمج هذه التقنية مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لدراسة ملاءمة الأرض لتحديد موقع مركز تجميع وفرز نفايات (C&D). توصلت الدراسة إلى اقتراح موقعاً ملائماً يراعي المعايير المدروسة، ويخدم كافة مناطق المحافظة، وتبين من آراء الخبراء أن المعايير البيئية هي الأكثر أهمية في تحديد موقع مركز إدارة نفايات (C&D) في محافظة اللاذقية.

الكلمات المفتاحية: نفايات الهدم والبناء، نظم المعلومات الجغرافية، فرز النفايات، الأنقاض، تحليل القرار متعدد المعايير، التحليل الهرمي.

*طالب دكتوراه –اختصاص هندسة بيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب

** أستاذ – اختصاص هندسة بيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب

***أستاذ – اختصاص هندسة بيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين

****أستاذ – اختصاص هندسة بيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب

Site selection for construction and demolition waste sorting and collection station using geographic information systems (GIS) and the hierarchical analysis method (AHP) – case study: Lattakia Governorate

Eng. Mayhoub* Prof.Dr. Banoud** Prof.Dr.Shahin*** Prof.Dr.Al-Saleh****

(Received: 18 April 2025 , Aceepted: 9 September 2025)

ABSTRACT:

Due to the huge increase in its quantities and the absence of effective management of them, especially in developing countries Construction and demolition waste is a source of great concern to researchers in the world,. It has become a large proportion of solid waste as a result of urban development on the one hand, and wars and devastating disasters on the other. In this study, attention was directed towards the problem of accumulation of construction and demolition waste, and the study suggested choosing a site to establish a stationary station for the collection and sorting of this waste instead of dumping it in random landfills and construction sites to make optimal use of it. Because of absence of Syrian criteria about such objects, eight criteria were adopted, taken to consideration environmental, social, and economical factors (population agglomerations, archaeological and tourist centers, vegetation, direction of mountain slopes and prevailing winds, rivers, main road network, Mediterranean coast, land inclination or slope). These criteria were selected and weighted using the multi-criteria decision analysis technique (MCDA). Specifically, the analysis hierarchical process (AHP), with the help of five expert opinions and similar studies. This technology was integrated with geographic information systems (GIS) to study the suitability of the land to locate a waste collection and sorting (C&D) center. It was found from the expert opinions that the environmental criteria are the most important in determining the location of the C&D waste management center in Lattakia.

Keywords: Construction and demolition waste, GIS, Waste sorting, Debris, Multi-criteria Decision Analysis, AHP

***PhD student – Environmental Engineering specialization – Faculty of Civil Engineering – University of Aleppo**

****Professor – Environmental Engineering specialization – Faculty of Civil Engineering – University of Aleppo**

*****Professor – Environmental Engineering specialization – Faculty of Civil Engineering – University of Tishreen**

******Professor – Environmental Engineering specialization – Faculty of Civil Engineering – University of Aleppo**

1- مقدمة

تعتبر نفايات أنقاض البناء والهدم مصدر قلقٍ كبيرٍ للباحثين، ولمتخذي القرار، والمؤسسات التنفيذية في العالم، نظراً لازدياد كمياتها بشكلٍ كبير، وغياب الإدارة الفعالة لها، خاصة في البلدان النامية، وقد أصبحت تشكل نسبة كبيرة من المخلفات الصلبة نتيجة التطور العمراني من جهة، والحروب والكوارث المدمرة من جهة أخرى.

في هذه الدراسة تم توجيه الاهتمام نحو مشكلة تراكم نفايات البناء والهدم، واقترحت الدراسة اختيار موقع لإنشاء محطة ثابتة لتجميع وفرز هذه النفايات، بدلاً من إلقائها في المكبات العشوائية، ومواقع البناء، للاستفادة منها بالشكل الأمثل. تم اعتماد ثمانية معايير (التجمعات السكانية، المراكز الأثرية والسياحية، الغطاء النباتي، اتجاه السفوح الجبلية والرياح السائدة، الأنهار، شبكة الطرق الرئيسية، ساحل البحر المتوسط، ميول الأرض أو الانحدار)، وقد تم اختيار هذه المعايير وتثقيلها باستخدام تقنية تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA)، وتحديداً عملية التحليل الهرمي (AHP)، وذلك بالاستعانة بآراء الخبراء والدراسات المشابهة. تم دمج هذه التقنية مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لدراسة ملاءمة الأرض لتحديد موقع مركز تجميع وفرز نفايات البناء والهدم (C&D).

توصلت الدراسة إلى أربع تصنيفات للأرض، وشكلت المواقع الأكثر ملاءمة 2% من مساحة محافظة اللاذقية، وتم اقتراح ثلاثة مواقع تراعي المعايير المدروسة، وتخدم كافة مناطق المحافظة.

تبين من آراء الخبراء أن المعايير البيئية هي الأكثر أهمية في تحديد موقع مركز إدارة نفايات (C&D) في محافظة اللاذقية.

2- التطور التاريخي لخيارات إدارة نفايات البناء والهدم الأنقاض (C&D)

أدى تطور أنشطة البناء في الآونة الأخيرة إلى زيادة كبيرة في كميات نفايات البناء والهدم المتولدة (Construction and Demolition waste) (Obaid *et al*, 2019).

تمثل النفايات الصلبة الناتجة عن أنشطة البناء والهدم (C&D) جزءاً كبيراً من إجمالي النفايات الصلبة البلدية (Broujeni et al., 2016)، وتعتبر المفوضية الأوروبية (EC) نفايات البناء والهدم (C&D) من مصادر النفايات ذات الأولوية، نظراً للكميات الكبيرة المتولدة والإمكانية العالية لإعادة الاستخدام وإعادة التدوير بسبب تكوين النفايات. وتعد ألمانيا، كإحدى دول الاتحاد الأوروبي، من الدول الرائدة عالمياً في إدارة أنقاض البناء وإعادة تدويرها، حيث تعتمد على مجموعة من المعايير الفنية والتشريعات القانونية، التي تضمن الحد من التأثيرات البيئية للنفايات الناتجة عن قطاع البناء والهدم، فقد تم، خلال مشروع توسيع وإعادة بناء مطار برلين– براندبورغ، إعادة تدوير نحو 85% من الأنقاض الخرسانية والطوب الناتجة عن الهدم (Muller, A., & Winkler, J. 2020).

يختلف معدل إعادة تدوير (C&D) في أوروبا بشكلٍ كبير بين البلدان. وفيما يتعلق بالدول الآسيوية، فقد تم تطوير حزمة من القوانين والتشريعات الخاصة بتدوير وإعادة استخدام الأنقاض . ونذكر هنا، مبادرة بلدية إسلام آباد/ الباكستان، لإعادة استخدام الأنقاض، حيث أطلقت هيئة تنمية العاصمة (CDA) مشروعًا تجريباً لاستخدام أنقاض الطرق والمباني المهدمة في صيانة البنية التحتية، تعبيد الطرق الثانوية و تثبيت قنوات التصريف المؤقتة، وبالنتيجة، تم توفير أكثر من 20% في تكاليف المواد والحد من استخدام الركام الطبيعي (Capital Development Authority 2023). في البلدان النامية، يؤدي النمو السكاني والتوسع الحضري وعملية البناء المتزايدة من ناحية، ونقص المساحة المناسبة لمواقع مطامر مدافن النفايات من ناحية أخرى، إلى تكثيف الحاجة إلى إعادة التدوير وإعادة استخدام نفايات (C&D)، (Broujeni et al., 2016).

الخيارات الأساسية المطبقة، لإدارة نفايات (C&D)، هي التقليل وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير، وبالنظر إلى مشاريع البناء التي يتم تنفيذها في العديد من البلدان النامية، يتم استخدام الخيارين الأولين عادةً لتقليل كمية (C&D)، ويتم تجاهل خيار (إعادة التدوير) بشكلٍ عام، وذلك لأنه يحتاج إلى تكلفة استثمار أولية عالية نسبياً (Ulubeyli et al., 2018)، وتحتاج

عملية إدارة الأنقاض إلى مواقع ملائمة يجب دراستها واختيارها بدقة وحذر، حيث يؤثر هذا القرار على الأرباح والتكاليف على المدى الطويل بالإضافة إلى التكلفة الاقتصادية والجدوى البيئية للحصويات المعاد تدويرها.

في السنوات الأخيرة، تم تطوير العديد من أدوات صنع القرار التي تم فيها تضمين الجوانب البيئية أو الاجتماعية أو الاقتصادية في عملية صنع القرار، ومن بين الأدوات التي تم تطويرها، كان استخدام التحليل متعدد المعايير (MCDA) بشكلٍ متكرر لحل مشاكل اتخاذ القرارات البيئية (Dosal et al, 2013).

ويعد التحليل الهرمي (AHP)، أحد أشهر طرائق تحليل القرار متعدد المعايير، والذي طوره العالم العراقي توماس ساعاتي عام 1980. حيث تستخدم لحساب أوزان المعايير اعتماداً على آراء الخبراء دون الحاجة إلى جمعهم في مكانٍ واحد، وتعتبر طريقة فعالة عندما تكون البيانات محدودة (د.تماضر الابراهيم، 2022).

تعرف نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بأنها علم يعتمد على أدوات حاسوبية لتخزين ومعالجة وعرض ورسم الخرائط، وتحليل الظواهر الجغرافية الموجودة على سطح الأرض، وتعتبر فعّالة أيضاً في تمثيل العلاقات المكانية، لذلك تستخدم على نطاق واسع لتحليل المشاكل المكانية، وتقديم الحلول البديلة واتخاذ القرار.

يتم دمج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) عادة، والتي تعتبر ذات أهمية كبيرة في دراسة وتحديد الموقع كونها تربط المعلومات الجغرافية بالوصفية، وبذلك فهي تدعم التحليل المكاني (Balew et al, 2022) مع مفهوم تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) عند تحديد المواقع الملائمة لمحطات معالجة النفايات. يعرف تحليل القرار متعدد المعايير المستند إلى نظم المعلومات الجغرافية على أنه عملية تجمع بين البيانات الجغرافية (المعايير المدروسة) وقيم الأحكام (لأصحاب القرار)، للحصول على النتيجة النهائية لاتخاذ القرار المناسب (Bosompem et al, 2016).

يتوفر القليل من الدراسات التي تهتم بإيجاد الأماكن المثلى لمراكز إدارة نفايات البناء والهدم، ففي دراسة أجريت في سوريا، تم دمج تقنيات (GIS) مع تحليل القرار متعدد المعايير (باستخدام التحليل الهرمي)، لتقييم ملاءمة الأرض لإقامة مراكز إعادة تدوير ثابتة ومتنقلة، ومكبات خاصة بنفايات البناء والهدم. تم أخذ سبعة معايير بعين الاعتبار (المراكز الحضرية، المراكز السياحية والأثرية، الانحدار، الغطاء النباتي، الشبكة المائية، شبكة الطرق، بالإضافة إلى عامل المناطق المتضررة نتيجة الحرب في محافظة حمص)، وأوضحت عملية التحليل الهرمي أن العوامل الاقتصادية لها الأهمية الأكبر، وبلغت نسبة الأراضي الأكثر ملاءمة لإنشاء مركز تدوير ثابت 9.33% (Shiban &Hasan, 2021).

تم استخدام أداة (GIS) وتحليل القرار متعدّد المعايير لتقييم الملاءمة البيئية لمجموعة من المحاجر المهجورة في لبنان، لتكون بمثابة مدافن ومنشآت معالجة لنفايات (C&D)، وتم اختبار ملاءمة هذه المحاجر اعتماداً على خمسة معايير: اجتماعية، اقتصادية، طبوغرافية، جيولوجية، هيدرولوجية، بالإضافة إلى البنية التحتية، وتوصلت الدراسة إلى اعتبار اثنين من 148 محجرًا مهجورًا في جبل لبنان مناسبين لإعادة التأهيل والاستخدام (AlZaghrini et al, 2019).

أجريت في الصين دراسة أخرى، حيث تم تحليل 11 معياراً لاختيار الموقع المناسب لإنشاء مكبات لنفايات البناء، وتبين من خلال التحليل أن أكثر المناطق ملاءمة لإنشاء مكبات النفايات هي مناطق صغيرة، لذلك من الضروري زيادة معدل إعادة تدوير مخلفات البناء، وتقليل مدافن النفايات، وذلك للحفاظ على موارد الأرض وحماية البيئة (Ding et al, 2018).

تنوعت في تركيا الدراسات التي تهتم بمعالجة النفايات، ففي دراسة أجريت في قونيا، والتي هدفت لتحديد موقع مكب صحي لحماية بحيرة بيشيهير، تم دمج عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) مع نظام المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل عدة معايير، مثل: الجيولوجيا/الجيولوجيا المائية، واستخدامات الأراضي والانحدار والمياه والطرق والمناطق المحمية (بيئية أو علمية أو تاريخية). توصلت الدراسة إلى أربعة تصنيفات للأرض، وهي مناطق ملاءمة عالية، ومتوسطة، ومنخفضة، ومنخفضة جداً، والتي مثلت 3.24% و7.55% و12.70% و2.81% من منطقة الدراسة على التوالي. بالإضافة إلى

ذلك، تم تحديد 73.70% على أنها لا تصلح لإنشاء مكب للنفايات، وتم اقتراح موقعين لطمر النفايات، (Sener et al, 2010).

في مرسين، تم استخدام تقنيات التحليل الهرمي (AHP)، ونظام المعلومات الجغرافية (GIS) بشكلٍ مشترك، لتحديد المواقع المناسبة للتخلص من النفايات الصلبة البلدية، وذلك باستخدام 12 معياراً لتقييم ملاءمة الموقع، تم دمج معايير القرار المختارة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، بعد توحيد وتعيين الأوزان لكل معيار باستخدام تقنية (AHP). تشير خريطة الملاءمة المصنفة إلى أن 0.73% من مساحة منطقة الدراسة هي الأنسب، و2.75% مناسبة، و3.39% مناسبة إلى حد ما، و4.77% غير مناسبة، و3.47% أقل ملاءمة، و84.89% غير مناسبة تماماً (أي مناطق محظورة)، (Yıldırım&Güler, 2016).

وفي كندا، أجريت دراسة هدفت بشكلٍ رئيسي إلى تطوير منهجية لتحديد المواقع المناسبة لمرافق تجميع النفايات، تم خلالها استخدام التحليل المكاني لنظام المعلومات الجغرافية (GIS)، لتحديد أنسب المناطق بمساعدة التحليل الهرمي (AHP) لتقييم متعدد المعايير للعوامل البيئية والاجتماعية المختلفة. تم إجراء دراسة حالة لألبرتا، وهي مقاطعة غربية في كندا، بلغ إجمالي النفايات المتاحة التي تم أخذها في الاعتبار في تلك الدراسة 4,077,514 طناً/سنوياً، تم جمعها من 79 مكباً للقمامة. أخيراً، تم إجراء تحليل تخصيص الموقع لتحديد المواقع المناسبة لـ 10 مرافق جمع للنفايات في المقاطعة (Khan et al, 2018).

3- أهمية البحث وأهدافه

إن تطور أنشطة البناء على مدى العقدين الماضيين، أدى إلى زيادة موازية في كميات المخلفات الإنشائية، وقد تبيّن أن هذا النمو، بالإضافة إلى نقص أماكن طمر النفايات، وعدم وجود منهج واضح لإدارة المخلفات الإنشائية والتخلص منها، أو إعادة تدويرها، ينعكس سلباً على البيئة.

تأتي أهمية البحث من كونه يسلط الضوء على مشكلة تراكم أنقاض البناء والهدم، حيث يعتبر اختيار موقع ملائم لتجميع نفايات البناء والهدم وفرزها، بداية النجاح لإدارتها بالشكل الصحيح، وسيكون الهدف الرئيسي لهذا البحث اختيار الموقع الأمثل لإنشاء **محطة ثابتة** لفرز وتجميع الأنقاض في مدينة اللاذقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والتحليل الهرمي (AHP).

تنبع أهمية البحث من كونه يقع ضمن إطار (إعادة تأهيل المطامر العشوائية للمخلفات الصلبة في محافظة اللاذقية)، بالتعاون مع فرع الاستشعار عن بعد (Remote sensing Centre) في المنطقة الساحلية، المجلس البلدي، المكتب التنسيقي UNDP في وزارة الإدارة المحلية والبيئة، وجامعة اللاذقية. فقد تبين، من خلال المعلومات المتوفرة لدى مديرية النفايات الصلبة، وشعبة النظافة، في محافظة اللاذقية، انتشار المكبات التي تحوي أنقاض البناء والهدم والإكساء، في مدينة اللاذقية (اثنا عشر مكباً)، والتي يعود عمر بعضها، إلى أكثر من 20 عاماً، وهي ليست مرخّصة، في أغلبها.

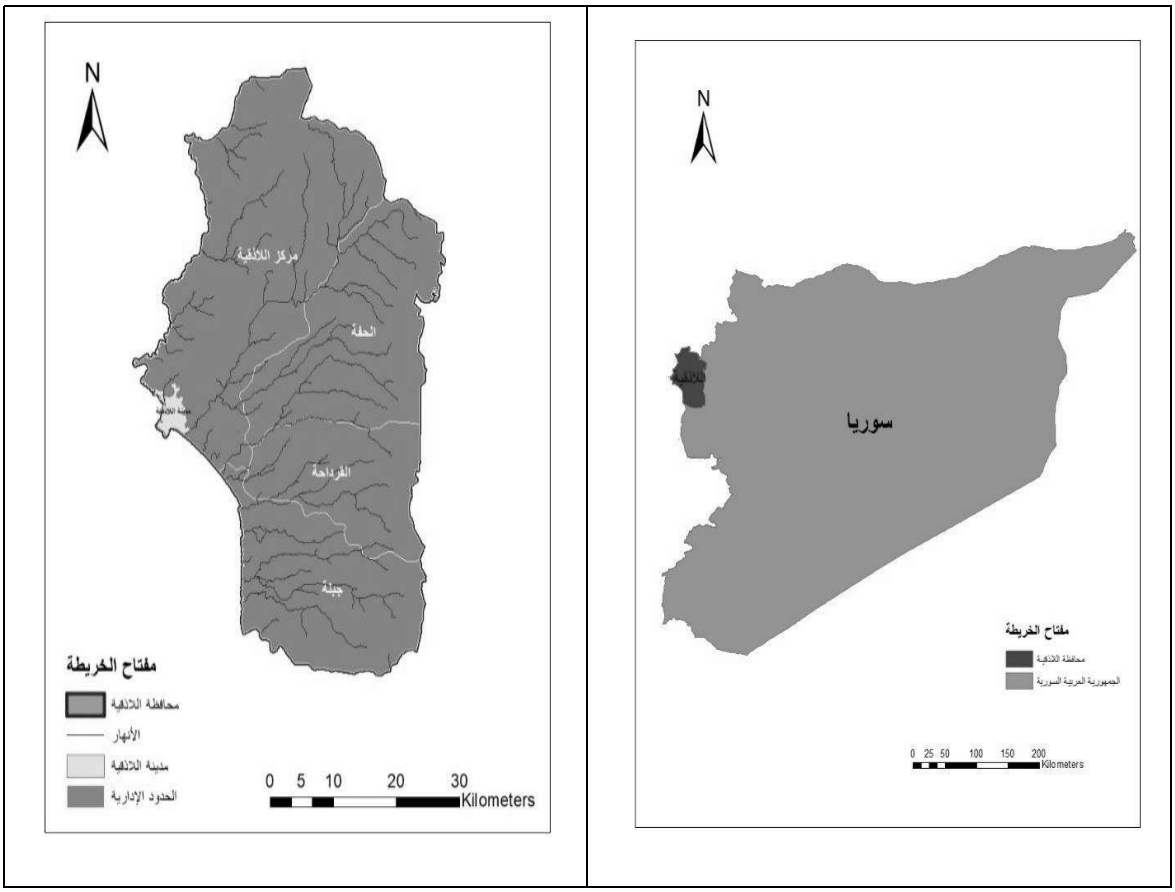
4- المنهجية

4-1- منطقة الدراسة

تقع محافظة اللاذقية على شاطئ البحر الأبيض المتوسط الشمالي الشرقي في شمال غرب سورية، وقد كانت قديماً مرفأً مهماً، وتعتبر الآن الميناء الرئيسي في الجمهورية العربية السورية. تبلغ مساحتها حوالي 2456 $k.m^2$، يبلغ عدد سكانها حوالي 2,335,000 نسمة (مديرية النظافة، مجلس مدينة اللاذقية). تقسم إدارياً إلى أربع مناطق هي اللاذقية، وجبلة، والحفة، والقرداحة، الشكل (1).

تتكون تضاريس المحافظة من سهلٍ ساحلي في الغرب، واسع في الجنوب، يضيق لينعدم في أقصى الشمال، حيث كتلة جبال البابر والبسيط، والتي يفصلها نهر الكبير الشمالي عن جبال اللاذقية، التي تشكل الجزء الشرقي في المحافظة.

تتركز الزراعة في محافظة اللاذقية في السهل الساحلي، أو على المدرجات الجبلية، وتعتمد المحافظة على زراعة الخضراوات المحمية بشكلٍ كبير، وتنتشر فيها زراعة الخضار الحقلية صيفاً، ونظراً لملاءمة المناخ تنتشر زراعة الزيتون والحمضيات.



الشكل رقم (1): منطقة الدراسة

مناخ المنطقة الساحلية بشكلٍ عام هو متوسطي عادي، مع شتاء معتدل ورطب وصيف حار وجاف. تهب على طول البحر المتوسط تيارات هوائية بجبهة الأطلسي القطبية ذات الضغط المنخفض، حتى تبلغ نهاياتها الشمالية الشرقية سواحل القطر حيث تتلاقى على المرتفعات الساحلية. (الشركة العامة للدراسات والاستشارات الفنية، فرع المنطقة الساحلية).

وفيما يلي أهم الخواص المناخية للمنطقة المدروسة اعتماداً على قياسات أقرب محطة مناخية هي محطة اللاذقية للأرصاد الجوية، وعلى مخططات الأطلس المناخي للقطر العربي السوري التابع لمديرية الأرصاد الجوية بدمشق:

الهطول المطري:

تتضافر الحركة الجوية العامة مع التضاريس المحلية في تفسير كميات الهطول وتوزيعها، وهكذا تزداد كمية الهطول مع ازدياد تكرار مرور المنخفضات الجوية، كما تزداد كلما ارتفعنا عن سطح البحر، ويلاحظ أن المعدل السنوي للهطول المطري في اللاذقية (791مم) ويصل إلى (174مم) في شهر كانون الثاني.

درجات الحرارة:

يلعب توزيع اليابسة والماء دوراً كبيراً في تحديد العوامل الجوية، وذلك للتأثير المباشر لكلٍ منهما على درجات الحرارة طيلة أيام السنة، إذ يبلغ المعدل السنوي للحرارة الوسطى في اللاذقية (26.2) درجة مئوية، يبلغ أعلى معدل شهري وسطي في شهر آب (27) درجة مئوية.

الرطوبة النسبية:

ترتبط الرطوبة النسبية بكمية بخار الماء وبدرجة الحرارة وبالارتفاع عن سطح البحر وبكثافة الغطاء النباتي. ويعتبر البحر المتوسط هو المصدر الأساسي للرطوبة الجوية في سوريا، لذلك يتّصف الجو في جميع أنحاء سوريا عدا المناطق الساحلية بارتفاع في معدل الرطوبة النسبية خلال فصل الشتاء، وانخفاضها في فصل الصيف، ويصل المعدل الشهري للرطوبة النسبية في اللاذقية في شهر يوليو/تموز إلى (75%) وينخفض ليصل إلى (58 %) في شهر تشرين الثاني.

التبخُّر الممكن:

تعكس قيم التبخُّر الممكن العلاقة ما بين الحرارة وبخار الماء من حيث مصدر كلٍ منهما، وتأثرهما بالعوامل الجوية المحلية، إذ يبلغ معدل التبخر اليومي في اللاذقية (4 مم)، ويزداد صيفاً ليصل إلى (5.2 مم) في شهر آب، وينخفض ليصل (3.1 مم) في اليوم خلال شهر كانون الثاني.

الرياح السائدة:

تسود المنطقة المدروسة من شهر نوفمبر/تشرين الثاني إلى شهر شباط رياح شرقية وشمالية شرقية، وتسود الرياح الجنوبية والجنوبية الغربية في باقي الأشهر من السنة، حيث يبين الجدول (1) اتجاه الرياح السائدة في الشهر، ويبين الجدول (2) المعدل الشهري للسرعة العظمى للرياح في محطة اللاذقية، حيث بلغت السرعة العظمى للرياح في أشهر الشتاء (27 م/ثا).

الجدول (1): اتجاه الرياح السائدة تبعاً لأشهر السنة في اللاذقية

الشهر	أيلول	ت1	ت2	ك1	ك2	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب
اتجاه الرياح	S SW	E NE	E NE	E NE	E NE	E NE	S SW	S SW	S SW	S SW	S SW	S SW

الجدول (2): المعدل الشهري للسرعة الوسطى للرياح

الشهر	أيلول	$ت_1$	$ت_2$	$ك_1$	$ك_2$	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	المعدل السنوي
السرعة العظمى	16	20	23	27	27	23	23	20	20	16	16	13	27

4-2- منهجية الدراسة

انتشر في الفترة الأخيرة، بناء العديد من الأبنية السكنية والتجارية البرجية، والمشاريع العمرانية في مدينة اللاذقية، والتي تنتج كميات كبيرة من المخلفات الإنشائية الممكن إعادة استخدامها أو تدويرها أو طمرها في حال عدم صلاحيتها.

لا تتم عملية اختيار الموقع الأمثل لمحطة إعادة تدوير نفايات البناء والهدم بشكلٍ عشوائي، وإنما تحتاج إلى دراسة متكاملة تراعى فيها عدة معايير، تقلل من الآثار السلبية لهذه المحطات على البيئة والمجتمع. تمت هذه العملية بمساعدة نظم المعلومات الجغرافية، عبر تطبيق مجموعة من المراحل في برنامج ArcGIS (10.8)، حيث تم في المرحلة الأولى تحديد ثمانية معايير لدراسة مدى ملاءمة الأرض بالنسبة لهذه المعايير، لإنشاء مركز فرز وتجميع نفايات (C&D)، وراعت هذه المعايير الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية، وشملت (البُعد عن التجمعات السكانية، البُعد عن المراكز الأثرية والسياحية، الغطاء النباتي، اتجاه الرياح السائدة في المنطقة، البُعد عن الأنهار، البُعد عن خط الشاطئ، والبُعد عن الطرق الرئيسية، ميول الأرض (الانحدار))، وتم جمع الخرائط والبيانات اللازمة للدراسة وإنشاء قاعدة البيانات الخاصة بالمعايير المدروسة. وقد تم التركيز على معيار اتجاه السفوح الجبلية والرياح السائدة، حيث هناك ضرورة لأخذ هذا المعيار بعين الاعتبار، عند إنشاء مراكز إدارة النفايات نظراً لما يصدر عنها من غبار وانبعاثات وضجيج. إذ تساهم الرياح في نقل هذه الانبعاثات والضجيج، لذلك يفضل أن يكون موقع هذه المراكز عكس اتجاه الرياح السائدة في منطقة الدراسة، وخلف السفوح الجبلية التي تحجبها عن المناطق المأهولة بالسكان (Yıldırım & Güler, 2016). وفي منطقة الدراسة، فإن الرياح الشرقية والشمالية الشرقية تسود في فصل الشتاء، والجنوبية إلى الجنوبية الغربية تسود في فصل الصيف، لذلك تعتبر السفوح المتجهة شرقاً وجنوباً هي الأقل ملاءمة.

في المرحلة الأخيرة تم استخدام تقنيات تحليل القرار متعدّد المعايير (MCDA)، وتحديداً عملية التحليل الهرمي (Analytic hierarchy process)، لإيجاد أوزان المعايير المدروسة بالاعتماد على آراء خمسة خبراء أكاديميين، وعاملين في مجال البيئة وإدارة المخلفات الصلبة. تم الحصول على خرائط ملاءمة الموقع بالنسبة للمعايير المدروسة وخريطة الملاءمة النهائية باستخدام أدوات التحليل المكاني.

5- النتائج والتحليل

5-1- تحديد معايير تقييم الأرض

بسبب عدم وجود معايير معتمدة في سورية لهذا النوع من المحطات، فقد تم الاعتماد في اختيار المعايير على الدراسات السابقة، العالمية والمحلية، والمشابهة لهذه الدراسة وآراء الخبراء العاملين في مجال معالجة وإدارة النفايات.

1- بُعد المسافة عن التجمعات السكانية:

تتطلب إدارة نفايات البناء والهدم موقعاً مثالياً لإنشاء محطات التجميع والتدوير، تقل فيه عوامل الخطورة والتأثيرات السلبية على الإنسان والبيئة. غالباً ما يرفض السكان إقامة هذا النوع من المحطات بجوارهم، نظراً للغبار والضجيج والانبعاثات التي تؤثر سلباً على صحتهم. كما أن فقدان السكان لأراضيهم نتيجة استملاك الأراضي لإقامة هذه المحطات، وانخفاض أسعار الأراضي القريبة منها سيزيد من معارضتهم لإنشائها (Shleha, 2020).

2- بُعد المسافة عن المراكز الأثرية والسياحية:

تؤثر محطات إدارة النفايات على المنظر الجمالي والسياحي والأثري، كما ينجم عن العمل فيها الكثير من الانبعاثات الضارة والغبار والضجيج (بنود 2023)، مما قد يضر بقطاع السياحة، لذلك يجب اختيار موقع بعيد نسبياً عن المناطق ذات النشاط السياحي العالي (Dosal, et al., 2013).

3- مؤشر الغطاء النباتي NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

مؤشر رقمي يستخدم نطاقات الأشعة تحت الحمراء المرئية والقريبة من الطيف الكهرومغناطيسي، ويستخدم لتقييم ما إذا كان الهدف الذي يتم رصده يحتوي على نباتات خضراء حيّة أم لا، ويتم الحصول على البيانات النقطية لـ NDVI من موقع هيئة المسح الجيولوجي الأمريكي USGS، حيث تتراوح قيم NDVI بين [-1،1]، الخلايا ذات القيمة NDVI أقل من 0.1 تتوافق مع الصخور القاحلة أو الرمال أو الثلج، وتعتبر أرضاً مناسبة لإقامة منشآت إدارة النفايات، حيث تفضل المناطق الجرداء الخالية من النباتات. تعتبر قيمة NDVI التي تساوي 0.1 نقطة منتصف في عملية التقييم (Madi&Srour, 2019).

4- اتجاه السفوح الجبلية والرياح السائدة:

لابد من أخذ هذا المعيار بعين الاعتبار عند إنشاء مراكز إدارة النفايات، نظراً لما يصدر عنها من غبار وانبعاثات وضجيج، إذ تساهم الرياح في نقل هذه الانبعاثات والضجيج، لذلك يفضل أن يكون موقع هذه المراكز عكس اتجاه الرياح السائدة في منطقة الدراسة، وخلف السفوح الجبلية التي تحجبها عن المناطق المأهولة بالسكان (Yıldırım & Güler, 2016). في هذه الدراسة تم استخدام طبقة السفوح الجبلية Aspect كبديل لاتجاه الرياح، وتم اشتقاقها من طبقة الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة DEM، وفي منطقة الدراسة، فإن الرياح الشرقية والشمالية الشرقية تسود في فصل الشتاء، والجنوبية إلى الجنوبية الغربية تسود في فصل الصيف، لذلك تعتبر السفوح المتجهة شرقاً وجنوباً هي الأقل ملاءمة.

5- بُعد المسافة عن مصادر المياه السطحية:

عند إنشاء أي منشأة تتعلق بالنفايات يجب حماية مصادر المياه السطحية من التلوث(Khan, *et al.,* 2018) وعلى الرغم من أن نفايات البناء تعتبر خاملة نسبياً، إلا أنها قد تشكل تهديداً طويل الأمد على مصادر المياه السطحية، كما تتشكّل في الشتاء السيول التي يمكن أن تغطي أرض مركز فرز النفايات، وتختلط بالمواد الناعمة وتنقلها إلى أماكن المياه السطحية (Madi & Srour, 2019).

6- بُعد المسافة عن خط الشاطئ:

تمت إضافة هذا المعيار نظراً لأهميته من أجل المحافظة على جمالية المنطقة، فمن غير المستحب وجود محطات معالجة للنفايات بالقرب من الشواطئ والمنتجعات السياحية، كما أن هذا المعيار يعزز معيار اتجاه الرياح بسبب تأثير الساحل على الرطوبة ومعدل الأمطار الساقطة، فكلما اتجهنا شرقاً تقل الرطوبة ويقل التبخر وتساقط الأمطار، وبالتالي تأخذ هذه المعايير رتباً أعلى لأنها تصبح أكثر ملاءمة لإقامة مراكز إدارة نفايات البناء والهدم.

7- بُعد المسافة عن الطرق الرئيسية:

تعتبر المسافة عن شبكة الطرق الرئيسية عاملاً اجتماعياً واقتصادياً مهماً يجب أخذه بعين الاعتبار عند اختيار مواقع مراكز نفايات البناء والهدم، إذ يجب أن تكون هذه المواقع بعيدة عن شبكة الطرق لاعتبارات جمالية، وفي ذات الوقت يجب ألا

تكون بعيدة جداً لتجنب وجود تكاليف إضافية لإنشاء طرق خاصة بهذه المراكز (Yıldırım & Güler, 2016)، وقد اعتمدت في هذه الدراسة شبكة طرق رئيسية من الدرجة الأولى والثانية.

8- ميول الأرض (الانحدار):

تشكل طبوغرافية المنطقة عاملاً هاماً عند اختيار المواقع المثلى لمراكز إدارة النفايات، فكلما زاد تضرس المنطقة زادت تكاليف الإنشاء والتشغيل، وزاد تدفق المياه الملوثة من هذه المراكز إلى مصادر المياه السطحية (Shtayah، 2012) و(Yıldırım & Güler, 2016)، وتزيد الدرجات الأعلى من 5 بالمائة من مخاطر التآكل وعدم الاستقرار عند مواجهة هطول أمطار غزيرة، وتؤثر على قابلية البناء وطرق الوصول أيضاً، وتعتبر الدرجة 5% درجة مناسبة للانحدار، وتستبعد المناطق ذات الانحدار الأكبر من 20% (Madi & Srour, 2019).

5-2- إنشاء قاعدة بيانات للمعايير المطلوبة

تم القيام في هذه المرحلة جمع معلومات عن المعايير المختارة، وتعد هذه أهم خطوة في بناء قاعدة بيانات جغرافية للحصول على الخرائط المطلوبة، وقد تم جمع البيانات المتعلقة بالمعايير المحددة في هذه الدراسة ومعالجتها باستخدام أدوات التحليل المكاني في بيئة (ArcGIS 10.8).

1- تم الحصول على الخرائط الخاصة بالدراسة من الشكل (2-a) إلى (2-c) من الهيئة العامة للاستشعار عن بعد في محافظة اللاذقية، والشكل (2-d) شبكة الأنهار التي تم اشتقاقها من نموذج الارتفاع الرقمي DEM للمحافظة، كما تم ترقيم طبقة خط الشاطئ يدوياً اعتماداً على صورة جوية لمحافظة اللاذقية.

2- تم تحميل خريطة نموذج الارتفاع الرقمي DEM لمنطقة الدراسة من موقع هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS بدقة (30m*30)، والتي التقطت عن طريق القمر الصناعي ASTER لعام 2019، (Earth-Explore).

3- تم اعتماد نظام الإحداثيات المترية:

Projected Coordinate Systems ⟶ WGS 1984 UTM Zone 37N

4- تم توليد طبقة الميول (الانحدار) الشكل (2-f) من خريطة نموذج الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة، باستخدام الأمر Slope المدرج ضمن قائمة:

3D Analyst tools ⟶ Raster Surface

5- تم توليد طبقة السفوح الجبلية الشكل (2-g) من خريطة نموذج الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة، باستخدام الأمر Aspect المدرج ضمن قائمة:

3D Analyst tools ⟶ Raster Surface

6- تم استخراج طبقة الغطاء النباتي NDVI الشكل (2-h) من المرئيات الفضائية للقمر الصناعي (Landsat 8 OLI) و(Landsat 9 OLI)، التي تم تحميلها من موقع (Earth-Explore) لعام 2022 م عبر الأمر Raster Calculator المدرج ضمن قائمة:

Map Algebra ⟶ Spatial Analyst tools

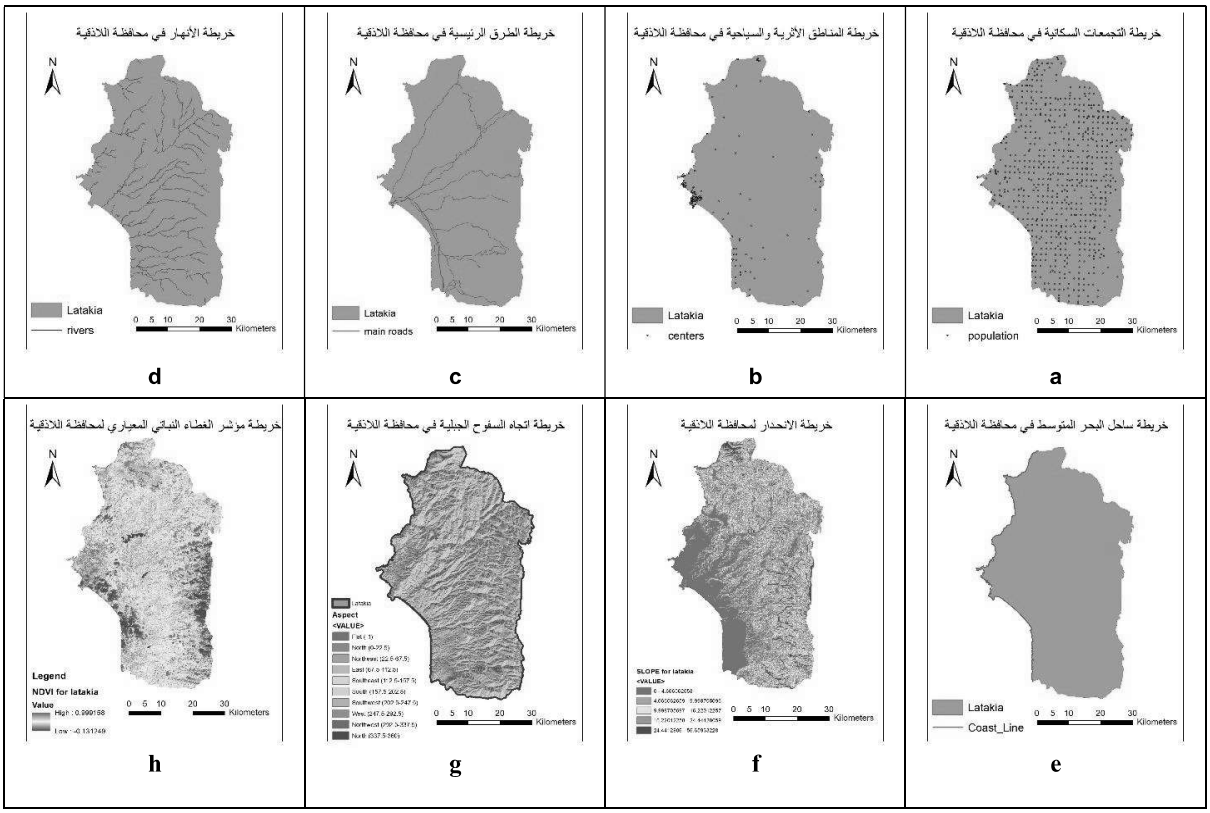
وذلك بتطبيق معادلة مؤشر الغطاء النباتي المعياري التالية:

$$NDVI = Float(Band5 - Band4)/Float(Band5 + Band4)$$

7- تم التعامل مع المعايير المرتبطة بالمسافات واستخراج خريطة raster المقابلة لها باستخدام أداة المسافة الإقليدية (وهي أقصر مسافة مستقيمة بين نقطتين في فضاء متعدد الأبعاد) Euclidean distance والمدرجة ضمن قائمة:

Distance ⟶ Spatial analyst tool

والتي تعطي قيمة لكل بكسل (وهو عنصر الصورة الأصغر في أي صورة رقمية) تتناسب مع المسافة عن المعيار المدروس.



الشكل رقم (2): الخرائط الخاصة بالدراسة

a. خريطة التجمعات السكانية، b. خريطة المراكز الأثرية والسياحية، c. خريطة الطرق الرئيسية، d. خريطة الأنهار، e. خريطة خط الشاطئ، f. خريطة الانحدار، g. خريطة السفوح الجبلية، h. خريطة الغطاء النباتي

8- تمت إعادة تصنيف الملفات الشبكية Raster المستخرجة وفق مقياس التصنيف المشترك ووفق قيود الدراسة من الشكل (a) إلى الشكل (h) وذلك باستخدام الأمر Reclassify المدرج ضمن قائمة:

Reclass ⟶ Spatial Analyst

5-3- مقياس تصنيف البيانات (المقياس المشترك Common scale):

الغرض من توحيد البيانات في صنع القرار القائم على نظم المعلومات الجغرافية، هو توفير مقياس مشترك لجميع المعايير التي تم أخذها في الاعتبار في تقييم الملاءمة. يجب توحيد معايير القرار المستندة إلى مقياس تصنيف ملائم موحد عن طريق تحويل البيانات الأصلية أو إعادة قياسها (أي قيم خلايا الشبكة)، وتبسيطها لتسهيل التعامل معها داخل بيئة التحليل المكاني (spatial analyst) الخاص بـ Arc-Gis.

1- توجد عدة مقاييس لتصنيف البيانات مثل المقاييس: (1-3)، (1-5)، (1-10)، (1-20) ...الخ.
2- في هذه الدراسة تم اختيار مقياس يقوم على أساس القيم من 1 إلى 5 (من الأقل ملاءمة إلى الأكثر ملاءمة) بالاعتماد على الدراسات المشابهة (Yıldırım & Güler, 2016)، (Shtaya, 2012)، و(Shiban & Hasan, 2021).
يبين الجدول (3) مقياس التصنيف الذي تم اعتماده في هذه الدراسة اعتماداً على دراسات مشابهة، حيث تعتبر القيم (5: أكثر ملاءمة، 4: ملائمة، 3: متوسط الملاءمة، 2: أقل ملاءمة، 1: غير ملائمة).

الجدول رقم (3): معايير إعادة تصنيف الطبقات المدروسة

المعيار	التصنيف	التقييم
المسافة عن التجمعات السكانية	0-1500 m	1
	1500-3000 m	2
	3000-4500 m	3
	4500-6000 m	4
	>6000 m	5
المسافة عن المراكز الأثرية والسياحية	0-1500 m	1
	1500-3000 m	2
	3000-4500 m	3
	4500-6000 m	4
	>6000 m	5
الغطاء النباتي	>0.4	1
	0.3-0.4	2
	0.2-0.3	3
	0.1-0.2	4
	<0.1	5
اتجاه السفوح الجبلية والرياح السائدة	الشمال	3
	الشمال الشرقي	2
	الشرق	1
	الجنوب الشرقي	4
	الجنوب	1
	الجنوب الغربي	2
	الغرب	5
	الشمال الغربي	3
المسافة عن الأنهار	0-500 m	1
	500-1000 m	2
	1000-1500 m	3
	1500-2000 m	4
	>2000 m	5
المسافة عن خط الشاطئ	0-500 m	1
	500-1000 m	2
	1000-1500 m	3
	1500-2000 m	4
	>2000 m	5
المسافة عن الطرق الرئيسية	0-500 m	1
	500-1000 m	2
	1000-1500 m	5
	1500-2000 m	4
	>2000 m	3
ميول الأرض (الانحدار)	>20%	1
	15-20%	2
	10-15%	3
	5-10%	4
	0-5%	5

4-5- معالجة المعايير باستخدام وظائف التحليل المكاني Spatial Analysis

تم التعامل مع المعايير المرتبطة بالمسافات والمتمثلة بالبيانات النقطية والخطية واستخراج خريطة raster المقابلة لها من الشكل (3) (a) إلى الشكل (3) (e)، باستخدام أداة المسافة الإقليدية والمدرجة ضمن قائمة Distance:

spatial analyst tool ⟵ Euclidean distance

والتي تعطي قيمة لكل بكسل تتناسب مع المسافة عن المعيار المدروس.

1- تم توليد طبقة الميول (الانحدار) الشكل (3) (f) باستخدام الأمر Slope المدرج ضمن قائمة:

Raster Surface ⟵ 3D Analyst tools

2- تم توليد طبقة السفوح الجبلية الشكل (3) (g) باستخدام الأمر Aspect المدرج ضمن قائمة:

3D Analyst tools ⟵ Raster Surface

3- تم استخراج طبقة الغطاء النباتي NDVI الشكل (3) (h) من المرئيات الفضائية للقمر الصناعي (Landsat 8-9 OLI) عبر الأمر Raster Calculator المدرج ضمن قائمة:

⟵ Map

Algebra

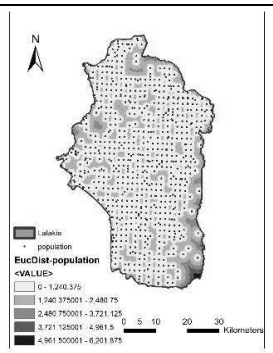
Spatial Analyst tools

وذلك بتطبيق معادلة مؤشر الغطاء النباتي المعياري التالية:

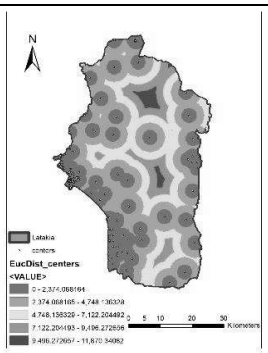
$$NDVI = Float(Band5 - Band4)/Float(Band5 + Band4)$$

4- تمت إعادة تصنيف الملفات الشبكية (Raster) المستخرجة وفق مقياس التصنيف المشترك المستخدم في الدراسة، وحسب الشروط المطبقة على المعايير للحصول على الخرائط التي تبين ملاءمة الموقع تبعاً لكل معيار من الشكل (4) (a) إلى الشكل (4) (e)، وذلك باستخدام الأمر Reclassify المدرج ضمن قائمة:

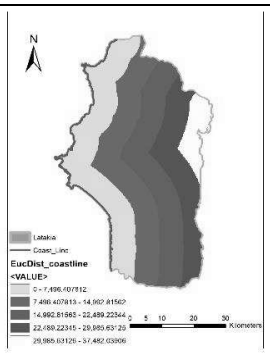
Spatial Analyst tools ⟵ Reclass



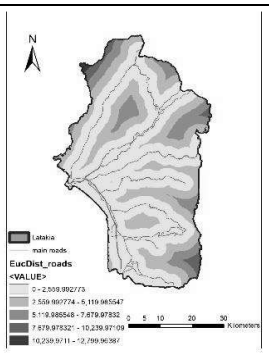
الشكل (a) تحليل المسافة عن التجمعات السكانية



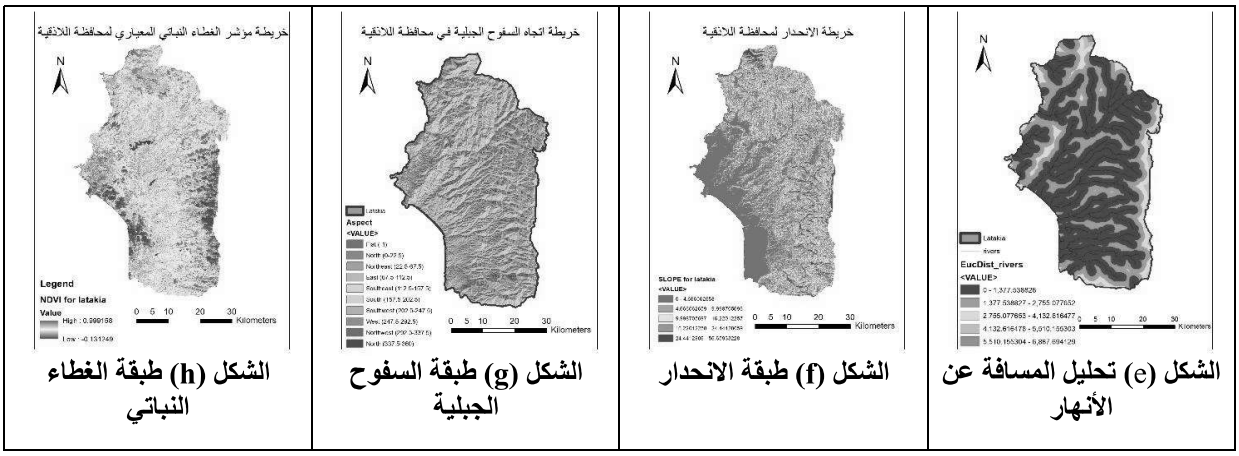
الشكل (b) تحليل المسافة عن المراكز الأثرية والسياحية



الشكل (c) تحليل المسافة عن خط الشاطئ

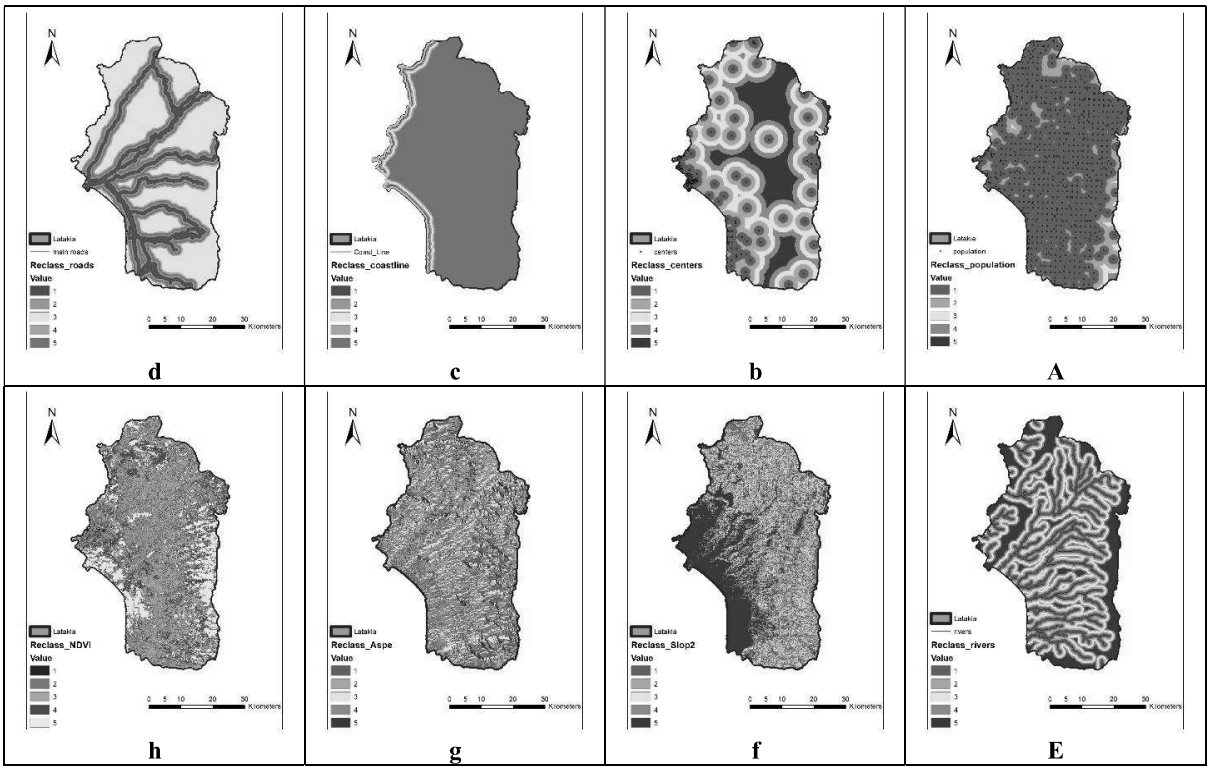


الشكل (d) تحليل المسافة عن الطرق الرئيسية



الشكل (e) تحليل المسافة عن الأنهار | الشكل (f) طبقة الانحدار | الشكل (g) طبقة السفوح الجبلية | الشكل (h) طبقة الغطاء النباتي

الشكل رقم (3): المسافة الإقليدية للمعايير المدروسة



A | b | c | d

E | f | g | h

الشكل رقم (4): الخرائط الخاصة بالمعايير بعد إعادة تصنيفها

a. خريطة التجمعات السكانية، b. خريطة المراكز الأثرية والسياحية، c. خريطة الطرق الرئيسية، d. خريطة الأنهار، e. خريطة خط الشاطئ، f. خريطة الانحدار، g. خريطة السفوح الجبلية، h. خريطة الغطاء النباتي

5-5- التحليل الهرمي AHP (إيجاد أوزان المعايير)

عملية التحليل الهرمي (Analytic hierarchy process) هي أداة لصنع القرار، طورها العالم العراقي Thomas Saaty (Bernasconi, et al., 2010)، ويعتبر أحد أكثر أدوات التقييم متعدد المعايير (MCE) شيوعاً، فهو أداة مرنة يتم تطبيقها في عمليات اختيار الموقع لأنها تساعد في عملية صنع القرار من خلال السماح لصانعي القرار بتنظيم المعايير والحلول

البديلة للمشكلة في نموذج صنع القرار الهرمي، وتوليد أوزان معايير التقييم، حيث كلما زادت قيمة هذه الأوزان زادت أهمية المعيار المقابل (Balew et al., 2022).

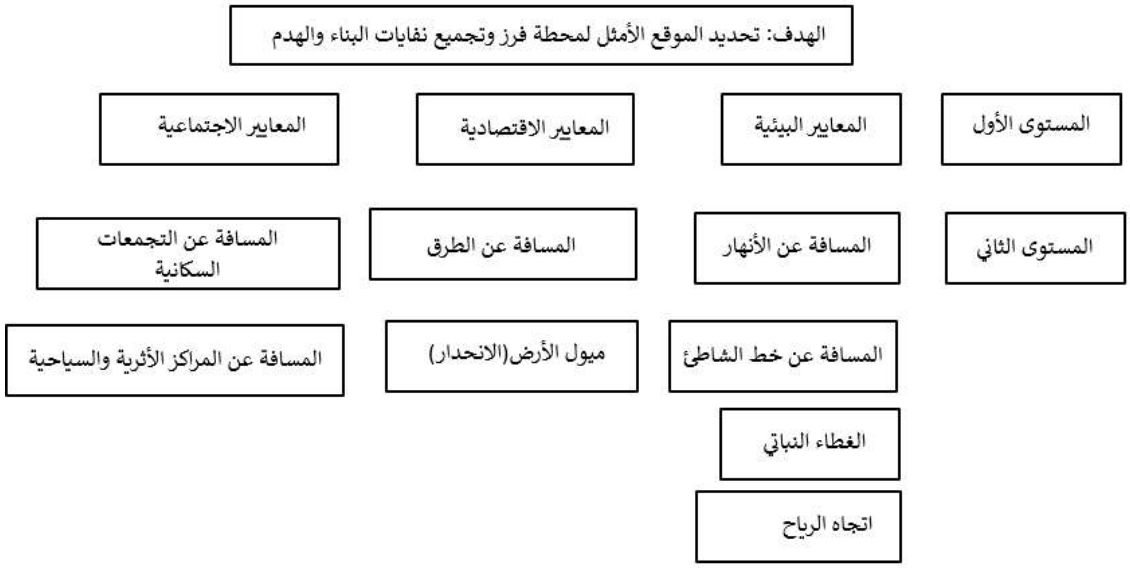
بالإضافة إلى ما ذكر أعلاه، فإنّ عملية التحليل الهرمي تستخدم لحساب أوزان المعايير اعتماداً على آراء الخبراء، دون الحاجة إلى جمعهم في مكانٍ واحد، وتعتبر طريقة فعالة عندما تكون البيانات محدودة (الابراهيم وآخرون، 2021).

تقسّم عملية التسلسل الهرمي التحليلي مشكلة صنع القرار المعقدة إلى عدة مستويات، وترتب هذه المستويات في ترتيب هرمي تصاعدي في كل مستوى من مستويات التسلسل الهرمي، وتتم مقارنة المكونات بالنسبة لبعضها البعض باستخدام مخطط مقارنة زوجي. لا يوجد هيكل هرمي موحد لكل مشكلة، إنما يسمح AHP لمستخدميه بالمرونة في بناء تسلسل هرمي يناسب احتياجاتهم (Saaty, 2005).

تتم عملية التحليل الهرمي وفق التسلسل الآتي:

- **بناء الشكل الهرمي**

يتألف الشكل الهرمي من عدة مستويات أعلاها الهدف من عملية صنع القرار يليها مستويات تشمل المعايير المدروسة وصولاً إلى المستوى الأدنى (والذي عادة ما يكون مجموعة من البدائل). وفي هذه الدراسة تضمن الشكل الهرمي مستويين فقط، المستوى الأول يشمل المعايير الرئيسة، والآخر يشمل المعايير الفرعية التي تم اعتمادها لتقييم الموقع الشكل (5).



الشكل رقم (5): نموذج التحليل الهرمي للدراسة

- **تحديد الأولويات**

يقصد بتحديد الأولويات إجراء مقارنات ثنائية بين العناصر بالنسبة لصفة معينة، وعادة ما تستخدم المصفوفات لهذا الغرض، كونها أداة سهلة ومرنة.

يتم عقد المقارنات الزوجية باستخدام أرقام تتراوح من 1 إلى 9، والتي تحدد الأهمية النسبية للمعيار (أبو وطفة، 2014). وقد تم ذلك بالاستعانة بخمسة خبراء أكاديميين وعاملين في مجال البيئة وإدارة المخلفات الصلبة وهم: الدكتور هيثم شاهين – أستاذ في كلية الهندسة المدنية – قسم البيئة – جامعة اللاذقية، الدكتور عادل عوض – أستاذ في كلية الهندسة المدنية – قسم البيئة – جامعة اللاذقية، الدكتورة فاطمة الصالح – قسم المواصلات – جامعة حلب، الدكتور عبد الحكيم بنود – قسم البيئة – جامعة حلب، والدكتور محمد ضاي – قسم البيئة – جامعة حلب.

نتيجة لذلك تم بناء مصفوفة المقارنة الزوجية الموضحة بالشكل (6).

المعيار	رقم الخبير	المسافة عن التجمعات السكانية	المسافة عن الطرق الرئيسية	الغطاء النباتي	اتجاه الرياح السائدة في المنطقة	المسافة عن المناطق الأثرية والسياحية	البيانات المائية	المسافة عن الشاطئ	ميول الأرض (الانحدار)
المسافة عن التجمعات السكانية	خبير 1	1	1	1/2	1/2	2	1	2	1
	خبير 2	1	1	1/4	1/4	1	1/4	1/2	¼
	خبير 3	1	2	1/2	1/2	4	1/2	4	1
	خبير 4	1	2	1/4	1/4	2	1/4	1	¼
	خبير 5	1	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	½
المسافة عن الطرق الرئيسية	خبير 1	1	1	1/2	1/2	2	1	2	1
	خبير 2	1	1	1/4	1/4	1	1/4	1/2	¼
	خبير 3	1/2	1	1/4	1/4	2	1/4	2	½
	خبير 4	1/2	1	1/6	1/6	1	1/6	1/2	1/6
	خبير 5	1/2	1	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	¼
الغطاء النباتي	خبير 1	2	2	1	1	4	2	4	2
	خبير 2	4	4	1	1	4	1	2	1
	خبير 3	2	4	1	1	6	1	6	2
	خبير 4	4	6	1	1	6	1	4	1
	خبير 5	2	4	1	1	1	1	1	1
	خبير 1	2	2	1	1	4	2	4	2

اتجاه الرياح السائدة في المنطقة	خبير 2	4	4	1	1	4	1	2	1
	خبير 3	2	4	1	1	6	1	6	2
	خبير 4	4	6	1	1	6	1	4	1
	خبير 5	2	4	1	1	1	1	1	1
المسافة عن المناطق الأثرية والسياحية	خبير 1	1/2	1/2	1/4	1/4	1	1/2	1	½
	خبير 2	1	1	1/4	1/4	1	1/4	1/2	¼
	خبير 3	1/4	1/2	1/6	1/6	1	1/6	1	¼
	خبير 4	1/2	1	1/6	1/6	1	1/6	1/2	1/6
	خبير 5	2	4	1	1	1	1	1	1
البيانات المائية	خبير 1	1	1	1/2	1/2	2	1	2	1
	خبير 2	4	4	1	1	4	1	2	1
	خبير 3	2	4	1	1	6	1	6	2
	خبير 4	4	6	1	1	6	1	4	1
	خبير 5	2	4	1	1	1	1	1	1
المسافة عن الشاطئ	خبير 1	1/2	1/2	1/4	1/4	1	1/2	1	½
	خبير 2	2	2	1/2	1/2	2	1/2	1	½
	خبير 3	1/4	1/2	1/6	1/6	1	1/6	1	¼
	خبير 4	1	2	1/4	1/4	2	1/4	1	¼
	خبير 5	2	4	1	1	1	1	1	1
ميول الأرض (الانحدار)	خبير 1	1	1	1/2	1/2	2	1	2	1
	خبير 2	4	4	1	1	4	1	2	1
	خبير 3	1	2	1/2	1/2	4	1/2	1/4	1
	خبير 4	4	6	1	1	6	1	4	1
	خبير 5	2	4	1	1	1	1	1	1

الشكل رقم (6): مصفوفة المقارنة الزوجية

- **حساب الأولويات**

تم في هذه الدراسة استخدام الطريقة التقريبية في حساب الأولويات، والتي يتم فيها أولاً جمع قيم الأعمدة لكل عنصر ولكل خبير على حدة كما يوضح الجدول (4)، بعد ذلك وكما يوضح الشكل (7) يتم استخراج المصفوفة المعيارية Normalized (Matrix)، وذلك بقسمة كل عنصر في العمود على مجموع العمود نفسه، ثم يتم بعد ذلك حساب المتوسط لكل صف من صفوف المصفوفة المعيارية.

الجدول رقم (4): مجموع أعمدة المصفوفة

رقم الخبير	المسافة عن التجمعات السكنية	المسافة عن الطرق الرئيسية	الغطاء النباتي	اتجاه الرياح السائدة في المنطقة	المسافة عن المناطق الأثرية والسياحية	البيانات المائية	المسافة عن الشاطئ	ميول الأرض (الانحدار)
خبير 1	9	9	4.5	4.5	18	9	18	9
خبير 2	21	21	5.25	5.25	21	8.25	10.5	5.25
خبير 3	9	18	4.58	4.58	30	4.58	26.25	9
خبير 4	19	30	4.83	4.83	30	4.83	19	4.83
خبير 5	13.5	27	5.75	5.75	6.75	6.75	6.75	6.75

المعيار	رقم الخبير	المسافة عن التجمعات السكانية	المسافة عن الطرق الرئيسية	الغطاء النباتي	اتجاه الرياح السائدة في المنطقة	المسافة عن المناطق الأثرية والسياحية	المسافة عن الأنهار	المسافة عن الشاطئ	ميول الأرض (الانحدار)
المسافة عن التجمعات السكانية	خبير 1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	خبير 2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05
	خبير 3	0.11	0.11	0.1	0.1	0.13	0.1	0.15	0.11
	خبير 4	0.05	0.06	0.05	0.05	0.08	0.05	0.05	0.05
	خبير 5	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
المسافة عن الطرق الرئيسية	خبير 1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	خبير 2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05
	خبير 3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.05	0.07	0.050.
	خبير 4	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	خبير 5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
الغطاء النباتي	خبير 1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.12	0.2	0.2
	خبير 3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 5	0.15	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15
اتجاه الرياح السائدة في المنطقة	خبير 1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.12	0.2	0.2
	خبير 3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 5	0.15	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15
المسافة عن المناطق الأثرية والسياحية	خبير 1	0.05	0.05	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05
	خبير 2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05
	خبير 3	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03
	خبير 4	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	خبير 5	0.15	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15
المسافة عن الأنهار	خبير 1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	خبير 2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.12	0.2	0.2
	خبير 3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 5	0.15	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15
المسافة عن الشاطئ	خبير 1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	خبير 2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.06	0.1	0.1
	خبير 3	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03
	خبير 4	0.05	0.07	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05
	خبير 5	0.15	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15
ميول الأرض (الانحدار)	خبير 1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	خبير 2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.12	0.2	0.2
	خبير 3	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.11
	خبير 4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	خبير 5	0.15	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15

الشكل رقم (7): المصفوفة المعيارية

6- خلاصة البحث

6-1- نتائج عملية التحليل الهرمي

- **التحليل الهرمي (أوزان المعايير):**

بعد إجراء المقارنات الزوجية تم التوصل إلى أوزان المعايير، والتي تبين تدرج أهميتها في تحديد الموقع الأمثل لمنشأة فرز نفايات البناء والهدم، الجدول (5).

الجدول رقم (5): أوزان المعايير

المسافة عن التجمعات السكانية	8
المسافة عن الطرق الرئيسية	6
الغطاء النباتي	20
اتجاه الرياح السائدة في المنطقة	21
المسافة عن المناطق الأثرية والسياحية	6
البيانات المائية	18
المسافة عن الشاطئ	6
ميول الأرض(الانحدار)	15
المجموع	100

أما نسب الثبات فقد كانت للخبراء الخمسة على التوالي: 0.04؛ 0.005؛ 0.03؛ 0.02؛ 0.02 وجميعها أقل من 0.1، وبالتالي فالأحكام تتسم بالاتساق.

6-2- خريطة الملاءمة النهائية

- للحصول على خريطة الملاءمة النهائية، تم إجراء عملية الجمع الجبري عبر تراكب جميع الطبقات المعاد تصنيفها الخاصة بالمعايير، عن طريق ضرب كل معيار بوزنه في برنامج Arc-Gis من خلال الأمر Raster Calculator.
- تم استبعاد البحيرات من خريطة الملاءمة النهائية، كونها لم تؤخذ ضمن المعايير المدروسة عن طريق اقتطاعها للحصول على خريطة الملاءمة النهائية، الشكل (8).
- تم اقتراح موقع يتلاءم مع الحدود الإدارية لمحافظة اللاذقية، ويعتمد بشكلٍ رئيسي على شبكة الطرق، ويخدم كافة المناطق وقريب من الطرق الرئيسية، ويحقق المعايير البيئية، الشكل (9).

7- الاستنتاجات والتوصيات والمقترحات

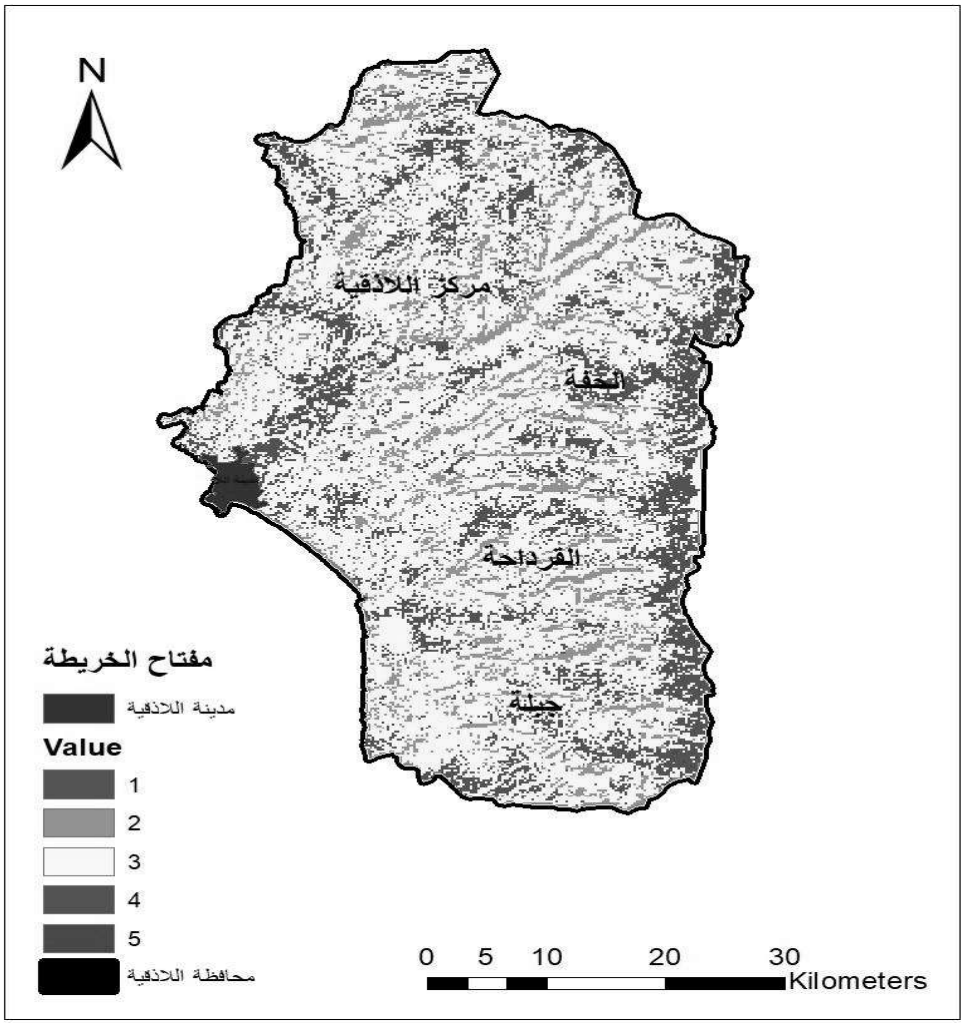
7-1- الاستنتاجات

1. أثبتت منهجية الاستخدام المدمج لنظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وطريقة التحليل الهرمي (AHP)، كفاءتها في حل المشاكل البيئية واختيار المواقع الملائمة لمرادم ومحطات معالجة النفايات.

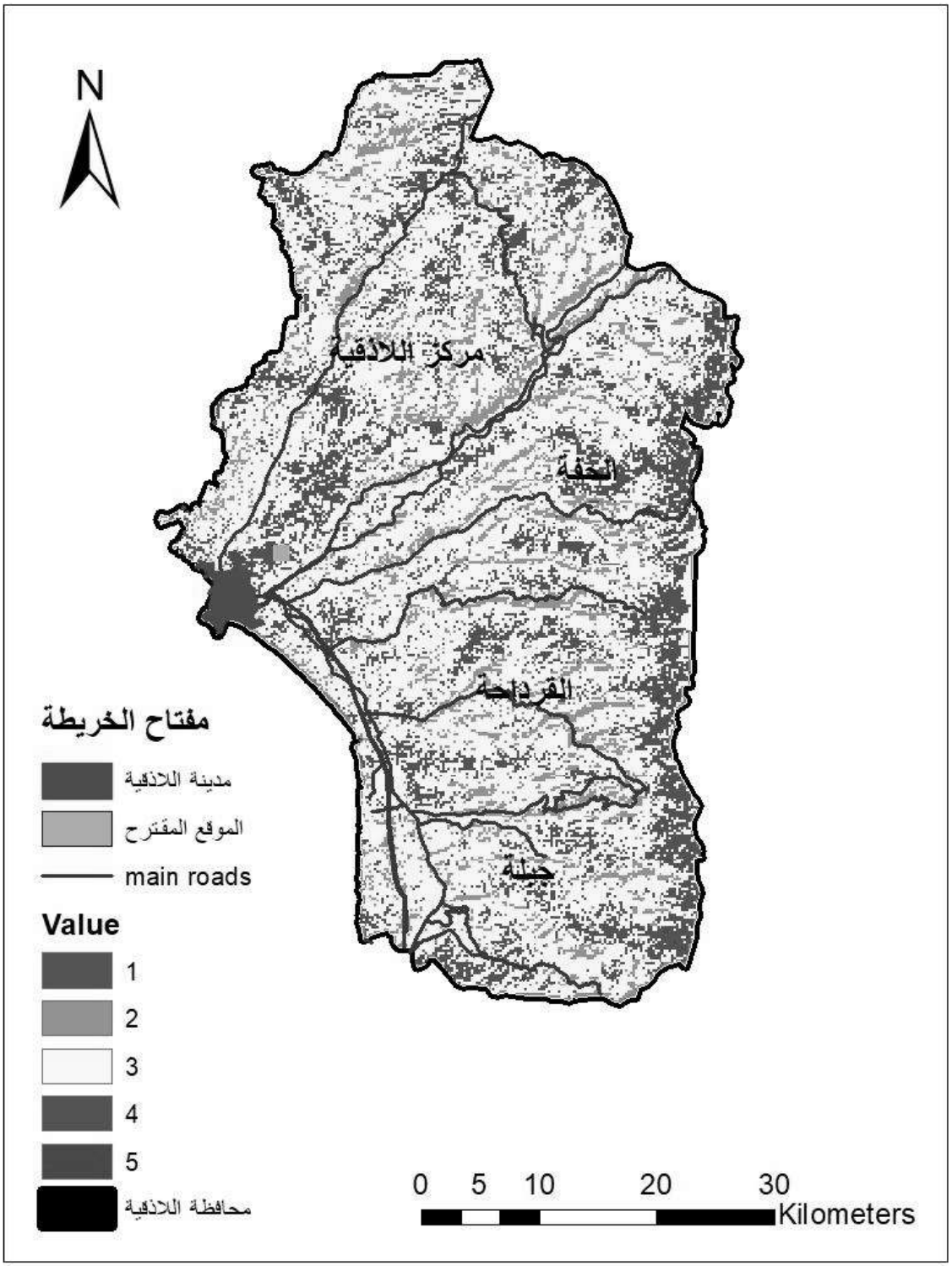
2. تبين أن العوامل البيئية، كانت الأهم في اختيار المواقع المناسبة لإنشاء مركز فرز وتجميع نفايات البناء والهدم برأي الخبراء، وقد راعت الدراسة من خلال تطبيق تقنيات GIS أن تكون المواقع المقترحة تخدم كافة مناطق المحافظة بالإضافة إلى مركز مدينة اللاذقية.

7-2- التوصيات والمقترحات

1. إدخال عوامل إضافية أخرى، اقتصادية، وبيئية، في دراسة اختيار المواقع الملائمة، لمحطات ومواقع فرز وتدوير النفايات.
2. تطبيق مبدأ إعادة التدوير، ودراسة الجدوى الاقتصادية لذلك، أثناء إنشاء محطات إدارة النفايات.
3. دراسة نفايات الأنقاض والهدم الناتجة عن الكوارث الطبيعية، كالزلازل وغيرها.



الشكل رقم (8): خريطة الملائمة النهائي



الشكل رقم (9): الموقع النهائي لمحطة الفرز والاستخلاص

8- المراجع الأجنبية

1- AlZaghrini, N., Srour, F. J., & Srour, I. Using GIS and optimization to manage construction and demolition waste: The case of abandoned quarries in Lebanon. *Waste Management*, *95*, 139-149. (2019).

2- Balew, A., Alemu, M., Leul, Y., & Feye, T. Suitable landfill site selection using GIS-based multi-criteria decision analysis and evaluation in Robe town, Ethiopia. *Geo Journal*, *87*(2), 895-920. (2022).

3- Bosompem, C., Stemn, E., & Fei-Baffoe, B. (2016). Multi-criteria GIS-based siting of transfer station for municipal solid waste: The case of Kumasi Metropolitan Area, Ghana. *Waste Management & Research*, *34*(10), 1054-1063.

4- Broujeni, B. R., Omrani, G. A., Naghavi, R., & Afraseyabi, S. S. (2016). Construction and demolition waste management (Tehran case study). *Engineering, Technology & Applied Science Research*, *6*(6), 1249-1252.

5- Capital Development Authority (2023). Pilot Project on Reuse of Construction Waste in Urban Infrastructure – Islamabad.

6- 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*, *15*(10), 2254. (2018).

7- Dosal, E., Viguri, J. R., & Andrés, A. Multi-criteria decision-making methods for the optimal location of construction and demolition waste (C&DW) recycling facilities. In *Handbook of recycled concrete and demolition waste* (pp. 76-107). Woodhead Publishing. (2013).

8- Khan, M. M. U. H., Vaezi, M., & Kumar, A. Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment. *Science of the total environment*, *610*, 1065-1075. (2018).

9- Madi, N., & Srour, I. Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. *Resources, conservation and recycling*, *141*, 163-175. (2019).

10- Muller, A., & Winkler, J. (2020). Recycling of Construction and Demolition waste in Germany. Journal of Environmental Engineering.

11- Obaid, A. A., Rahman, I. A., Idan, I. J., & Nagapan, S. Construction waste and its distribution in Iraq: an ample review. *Indian Journal of Science and Technology*, *12*(17), 1-10. (2019).

12- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. *Decision making with the analytic network process* (Vol. 282). Berlin, Germany: Springer Science+ Business Media, LLC. (2006)

13- Saaty, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, *1*(1), 83-98.. (2008)

14- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste management*, *30*(11), 2037-2046. (2010).

15- Shleha, R. *Selecting the Suitable Sites for Wastewater Treatment PLANTS Using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (24) No. (3) 4242*. (2020)

16- Shtayah, D. A. L. H. *Assessing the Reality of Waste Dumps in the West Bank and Planning for them by the (GIS)* (Doctoral dissertation). . (2012)

17- Ulubeyli, S., Arslan, V., & Kazaz, A. Construction and Demolition Waste Recycling Plants in Turkey. In *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS), May* (pp. 2-6). (2018)

18- UN-Habitat (2020). Waste Wise Cities Tool: Assessment of Construction and Demolition Waste – Case Studies from Asia

19- Vaidya, O. S., & Kumar, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of operational research*, *169*(1), 1-29. (2006).

20- Yıldırım, Ü., & Güler, C. Identification of suitable future municipal solid waste disposal sites for the Metropolitan Mersin (SE Turkey) using AHP and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, *75*, 1-16. (2016).

9- المراجع العربية

1- الابراهيم تماضر. تحديد المواقع المحتملة لحصاد المياه باستخدام طريقة التحليل الهرمي ونظام المعلومات الجغرافي. *سلسلة العلوم للهندسة المدنية والمعمارية*.(15)*44* , (2022).

2- جركس هزار (2015). مساهمة في تطوير عمليات جمع وترحيل النفايات الصلبة في مدينة اللاذقية رسالة ماجستير، كلية الهندسة المدنية.

3- شاهين هيثم، حربا كوكب، جعفر رائد (2019). معالجة المخلفات الصلبة. الفصل الرابع/أنقاض البناء والهدم. منشورات جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

4- شيبان، س وحسن، آلاء، إيجاد الأماكن المثلى لمراكز إعادة التدوير ومكبات مخلفات الهدم والبناء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتحليل القرار متعدد المعايير-حالة الدراسة: محافظة حمص، مجلة جامعة تشرين، سلسلة العلوم الهندسية (2021).

5- بنود عبد الحكيم (2023)، الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة، منشورات مؤسسة زايد الدولية للبيئة، دبي، الإمارات العربية المتحدة.