Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (5) (Nov, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) العدد 5 نوفمبر 2026
عدد خاص بالمؤتمر العلمي الرابع للعلوم والتقنية
28-29 نوفمبر 2026 مصراتة – ليبيا
إدارة المعاهد العليا – وزارة التعليم التقني

التقييم المكاني لمواقع مكبات النفايات الصلبة واختيار المواقع الملائمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد(دراسة تطبيقية على مدينة الزاوية)

نجمية عمار بلعيد - جلال النالوتي علي
المركز الليبي للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء
المركز الليبي للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء

Spatial Assessment of Solid Waste Landfill Sites and Selection of Suitable Locations using Geographic Information Systems and Remote Sensing (A case study of the city of Zawiya)

Najmia Ammar Bel-Eid – Jalal Al-Naluti Ali
Libyan Center for Remote Sensing and Space Sciences
Libyan Center for Remote Sensing and Space Sciences
najmia_ammar@yahoo.com
galalali491@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2026/7/30 تاريخ المراجعة 2026/8/20 تاريخ القبول:2026/8/28- تاريخ النشر: 2026/11/28

Abstract

The increasing proliferation of uncontrolled waste dumps in many Libyan cities, particularly in the city of Zawiya, has resulted in significant environmental and public health concerns. Uncontrolled dumping can contribute to soil and groundwater contamination through the infiltration of leachate and hazardous substances, as well as air pollution caused by the emission of gases such as methane and carbon dioxide. Therefore, the identification of environmentally suitable locations for sanitary landfills is an important component of sustainable waste management and environmental planning.

This study aims to identify suitable locations for establishing sanitary landfills in the Zawiya study area using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS). A set of environmental, social, economic, geomorphological, and climatic criteria was derived from available spatial and environmental data. These criteria were represented as thematic maps and processed using spatial analysis techniques to develop an integrated digital database for landfill-site suitability assessment.

The results of the spatial analysis identified a suitable area for establishing a sanitary landfill in the southern part of the study area. The selected area was determined based on the adopted suitability criteria and was represented using suitability maps. The findings demonstrate the potential of GIS and RS as effective tools for integrating spatial and environmental information and supporting evidence-based decision-making in waste-management planning.

The study recommends strengthening the use of GIS and RS in environmental planning and solid-waste management, closing uncontrolled waste dumps that do not comply with environmental and health requirements, and adopting scientifically based criteria for the planning and management of sanitary landfill sites. according to the following coordinates: longitudes (12° 59' - 12° 35') east, and latitudes (32° 49' - 32° 25') north.

Keywords: Environmental Planning; Geographic Information Systems (GIS); Remote Sensing (RS); Waste Management; Landfill Site Selection; Suitability Mapping; Environmental Criteria.

الملخص

يشهد العديد من المدن الليبية، ولا سيما مدينة الزاوية، انتشارًا لمكبات النفايات العشوائية، الأمر الذي يترتب عليه عدد من المشكلات البيئية والصحية. وتسهم هذه المكبات في تلوث التربة والمياه الجوفية نتيجة تسرب العصارة والمواد الضارة، فضلًا عن تلوث الهواء الناجم عن انبعاث بعض الغازات، ومنها الميثان وثاني أكسيد الكربون. ومن ثم، يُعد اختيار المواقع الملائمة لإنشاء مكبات النفايات الصحية أحد العناصر المهمة في تحقيق الإدارة المستدامة للنفايات والتخطيط البيئي السليم.

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المواقع الملائمة لإنشاء مكبات صحية للنفايات في منطقة الدراسة بمدينة الزاوية، بالاعتماد على تقنيتي نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS). وتم اشتقاق مجموعة من المعايير البيئية والاجتماعية والاقتصادية والجيومورفولوجية والمناخية من البيانات المكانية والبيئية المتاحة لمنطقة الدراسة وفقًا لمعايير محددة (اتفاقية بازل الخاصة بالنفايات الخطرة والبيئة تحت اشراف برنامج الامم المتحدة للبيئة سنة 1989م). كما جرى تمثيل هذه المعايير في صورة خرائط موضوعية، ثم معالجتها باستخدام تقنيات التحليل المكاني بهدف بناء قاعدة بيانات رقمية متكاملة لتقييم ملائمة المواقع المقترحة لإنشاء مكبات النفايات الصحية.

أظهرت نتائج التحليل المكاني وجود منطقة ملائمة لإنشاء مكب صحي للنفايات في الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة، وذلك استنادًا إلى المعايير المعتمدة في الدراسة. وتم تمثيل نتائج التحليل في صورة خرائط ملائمة مكانية توضح درجات ملائمة المواقع المقترحة. حسب الإحداثيات التالية خطي طول(35 °12 - '59 °12) شرقاً ، ودائرتي عرض('25 °32- °32) '49 شمالا.

وتبرز نتائج الدراسة أهمية توظيف نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في دمج وتحليل البيانات المكانية والبيئية ودعم عملية اتخاذ القرار في مجال التخطيط البيئي وإدارة النفايات. كما توصي الدراسة بتعزيز استخدام التقنيات الجغرافية الحديثة في تخطيط وإدارة النفايات الصلبة، والعمل على إغلاق المكبات العشوائية غير المستوفية للاشتراطات الصحية والبيئية، واعتماد أسس علمية واضحة عند تخطيط وإنشاء مكبات النفايات الصحية.

الكلمات المفتاحية: التخطيط البيئي؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ الاستشعار عن بعد؛ إدارة النفايات؛ اختيار مواقع مكبات النفايات؛ خرائط الملائمة؛ المعايير البيئية.

المقدمة

يشهد العالم في العقود الأخيرة تزايدًا مستمرًا في أعداد السكان، وارتفاعًا في مستويات المعيشة، إلى جانب التطور الصناعي والتقني المتسارع، الأمر الذي أدى إلى زيادة كميات النفايات وتنوع مصادرها وأنواعها. وقد أصبحت إدارة النفايات والتخلص منها من أبرز التحديات التي تواجه المدن والمجتمعات، لما قد تسبب أساليب التخلص الغير سليمة من آثار سلبية على البيئة ومواردها الطبيعية، فضلًا عن مخاطرها المحتملة على صحة الإنسان وسلامته.

وتعد مدينة الزاوية من المدن الليبية التي تواجه تحديات مرتبطة بالإدارة والتخلص من النفايات الصلبة، الأمر الذي يستدعي دراسة مواقع المكبات الحالية وتقييم مدى ملائمتها من الناحية البيئية والعمرانية والصحية، إلى جانب البحث عن مواقع بديلة يمكن أن تكون أكثر ملائمة لإنشاء مكبات آمنة وفق مجموعة من المعايير العلمية والبيئية.

ويعد اختيار الموقع المناسب لإنشاء مكب للنفايات من أهم مراحل إدارة النفايات الصلبة، إذ يتطلب مراعاة مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية، من بينها طبيعة التضاريس ودرجة الانحدار، والبعد عن المناطق العمرانية، وشبكة الطرق، ومصادر المياه السطحية والجوفية، واستعمالات الأراضي، والمناطق الزراعية، وغيرها من المعايير التي تؤثر في مدى ملائمة الموقع المقترح.

وفي هذا السياق، توفر تقنيتا الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) إمكانات مهمة في جمع البيانات المكانية وتحليلها ومعالجتها وربطها بالبيانات الوصفية، فضلًا عن إمكانية إنتاج خرائط رقمية تساعد في تحديد وتحليل التوزيع المكاني للظواهر المختلفة. كما تتيح نظم المعلومات الجغرافية إجراء عمليات التحليل المكاني وتراكب الطبقات المكانية وفق معايير محددة، الأمر الذي يجعلها من الأدوات المناسبة لدعم اتخاذ القرار في مجال التخطيط البيئي واختيار مواقع مكبات النفايات.

وبناءً على ذلك، يهدف هذه الدراسة إلى تقييم مواقع مكبات النفايات الحالية في مدينة الزاوية، وتحليل مدى ملائمتها وفق مجموعة من المعايير البيئية والمكانية، إلى جانب تحديد المواقع الأكثر ملائمة لإنشاء مكبات جديدة باستخدام تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وذلك بالاعتماد على برنامج ArcGIS 10.8 وبرمجيات معالجة الصور الفضائية.

وقد قام فريق الدراسة بإجراء زيارة ميدانية أولية لمنطقة الدراسة بهدف التعرف على واقع مكبات النفايات القائمة وملاحظة طبيعة توزيعها وحجم النفايات المتراكمة والظروف المحيطة بها. وأظهرت الملاحظات الميدانية الأولية أن بعض مواقع التخلص من النفايات في مدينة الزاوية تتخذ نمط المكبات المفتوحة، الأمر الذي يستدعي تقييم مدى توافقها مع المعايير البيئية والصحية المعتمدة.

ومن هنا جاءت فكرة إجراء هذه الدراسة بهدف توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقييم الوضع الراهن واقتراح مواقع أكثر ملائمة لإنشاء مكبات للنفايات، بما يمكن أن يسهم في دعم الجهات المختصة وصناع القرار في مجال الإدارة المستدامة للنفايات والتخطيط البيئي بمدينة الزاوية.

مشكلة الدراسة:

- دراسة ملائمة مواقع مكبات النفايات الحالية في مدينة الزاوية.
- تحديد أهم المعايير الطبيعية والبشرية لاختيار مواقع المكبات.
- توظيف الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية في التحليل المكاني.
- تحديد المواقع الأنسب لإنشاء مكبات جديدة.
- تقدير الأراضي المناسبة مستقبلًا في ظل التوسع العمراني.

فرضيات الدراسة:

- تختلف ملائمة مواقع المكبات باختلاف الخصائص الطبيعية والبشرية.
- يمكن استخدام الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد المواقع المناسبة.
- تتأثر الملائمة بالانحدار، والقرب من العمران والطرق والمياه واستعمالات الأراضي.
- بعض المكبات الحالية لا تتوافق بالكامل مع المعايير المعتمدة.
- يمكن للتحليل المكاني تحديد مواقع مناسبة مستقبلًا مع مراعاة التوسع العمراني.

منهجية الدراسة:

- المنهج الوصفي: دراسة الظواهر الطبيعية والبشرية وتوزيع المكبات والطرق والعمران.
- المنهج التطبيقي: استخدام الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية، وبرنامجي ERDAS Imagine 2014 وArcGIS 10.8.

أهداف الدراسة:

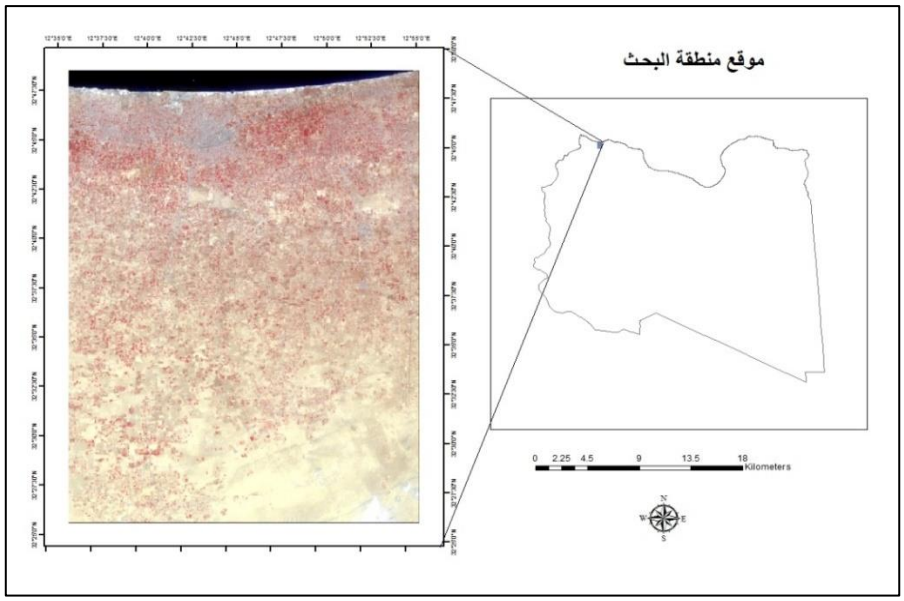
- تقييم الملائمة المكانية لمواقع مكبات النفايات ضمن منطقة الدراسة.
- تحديد المعايير البيئية والطبيعية والعمرانية المؤثرة في اختيار مواقع المكبات.
- توظيف بيانات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية في إعداد الطبقات وتحليلها.
- إنتاج خرائط مكانية توضح توزيع المعايير ودرجات الملائمة.
- تحديد مناطق الاستبعاد والمناطق المرشحة وفق المعايير المعتمدة.
- تقديم توصيات تساعد الجهات المختصة في التخطيط المستدام لإدارة النفايات.

أهمية الدراسة

- توفير أساس مكاني لدعم القرار المتعلق بإدارة النفايات الصلبة في مدينة الزاوية.
- إبراز دور دمج البيانات البيئية والعمرانية في تقليل مخاطر اختيار مواقع غير ملائمة.
- إتاحة قاعدة بيانات وخرائط قابلة للتحديث عند توافر بيانات جديدة.
- الإسهام في توجيه الدراسات الميدانية التفصيلية نحو المواقع المرشحة بدلًا من فحص المنطقة بصورة عشوائية.

موقع منطقة الدراسة:

تعتبر مدينة الزاوية رابع أكبر مدينة ليبية من حيث عدد السكان ويبلغ عدد سكانها (370622 نسمة) وتمثل حوالي (5.10%) من تعداد سكان ليبيا حسب أخر إحصائية نشرتها مصلحة الإحصاء والتعداد ليبيا في العام 2023 م [9] وتقع المدينة غرب العاصمة طرابلس " ضمن الساحل الشمالي الغربي لليبيا " بين خطي طول (´35 °12 - ´59 °12) شرقاً ، ودائرتي عرض (25 °32-´49 °32) شمالا . شكل (1)

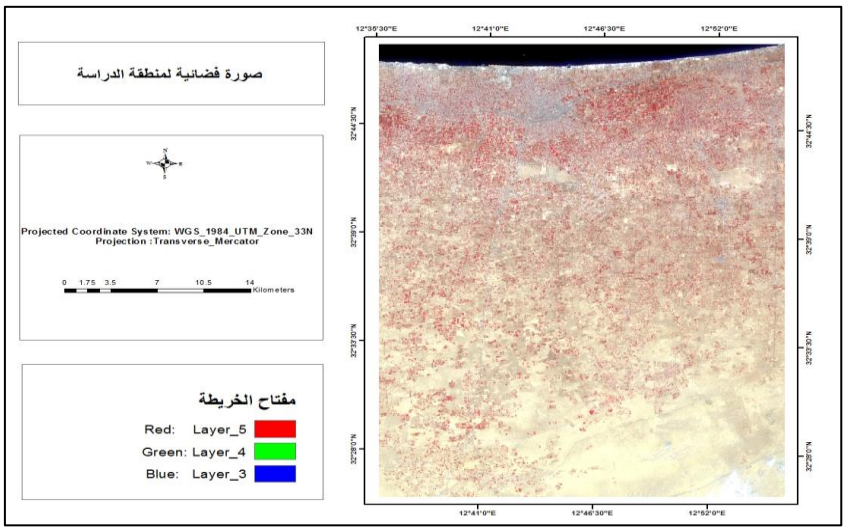


المرحلة الأولى: تجميع وإعداد البيانات المستخدمة في الدراسة

تم في هذه المرحلة تجميع البيانات المكانية اللازمة لتنفيذ الدراسة، والتي تمثلت في:

1. **المرئية الفضائية:**

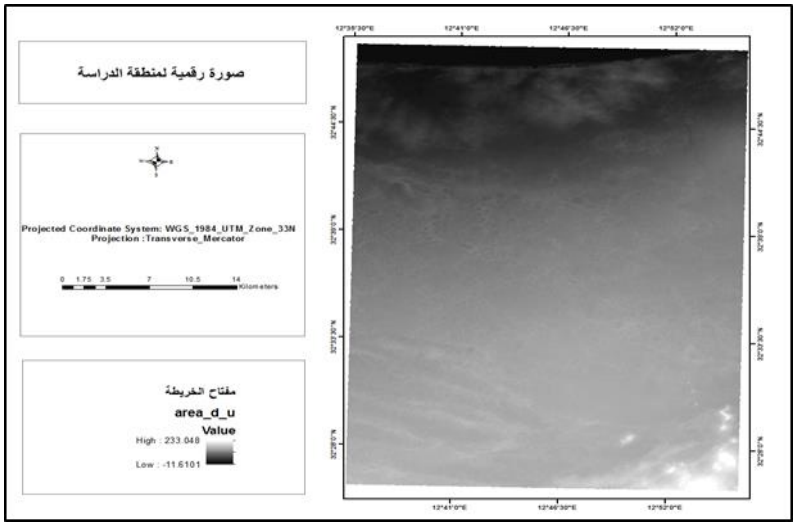
تم الحصول على مرئية فضائية من أقمار Landsat لعام 2022، بدقة مكانية بلغت 30 مترًا، وذلك لاستخدامها في تصنيف الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة. وقد تم اختيار المرئية بما يتناسب مع حدود منطقة الدراسة وجودة البيانات، ثم إجراء المعالجات المسبقة اللازمة عليها تمهيدًا لاستخدامها في عملية التصنيف، كما هو موضح في الشكل (2).



شكل (2) صور فضائية لمنطقة الدراسة

2. **نموذج الارتفاع** الرقمي (DEM):

تم الحصول على نموذج ارتفاع رقمي (Digital Elevation Model – DEM) بدقة مكانية بلغت 30 مترًا من المركز الليبي للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء. وأُجريت عليه المعالجات اللازمة وفق متطلبات الدراسة، ثم استُخدمه لاشتقاق طبقة درجة الانحدار (Slope) لمنطقة الدراسة، كما هو موضح في الشكل (4).



شكل (3) صورة نموذج الارتفاع الرقمي

3. خريطة التربة

يمثل تصنيف التربة أساسًا مهمًا في الدراسات الجغرافية والبيئية والهيدرولوجية، إذ يهدف إلى تجميع الترب المتشابهة في خصائصها المورفولوجية والفيزيائية والكيميائية ضمن وحدات تصنيفية محددة، بما يسهم في دراسة توزيعها المكاني وتقييم ملائمتها للاستخدامات المختلفة.

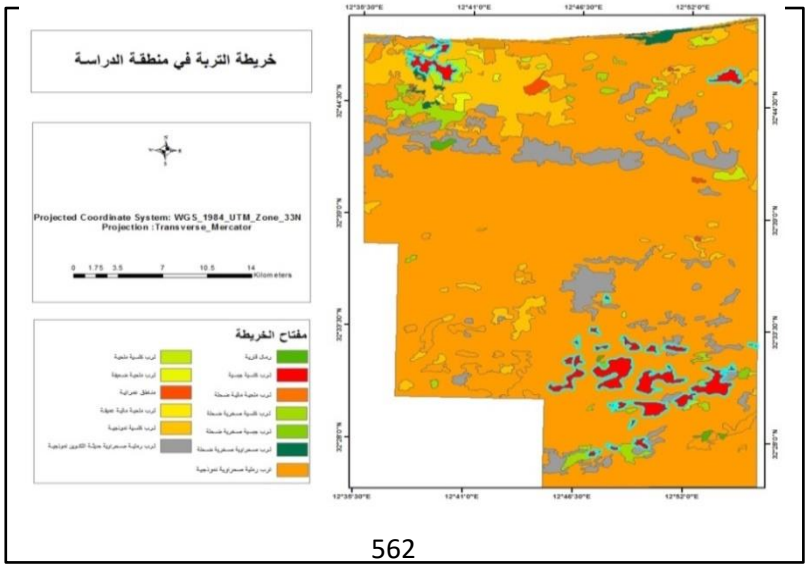
تندرج ترب منطقة الدراسة ضمن ترب الأقاليم الجافة وشبه الجافة، وتتميز عمومًا بانخفاض محتواها من الطين والمادة العضوية، وضعف النشاط الحيوي، وحداثة تكوينها نسبيًا. وقد تم اعتماد نظام تصنيف التربة الأمريكي الحديث لتصنيف ترب المنطقة، اعتمادًا على خصائصها التشخيصية المورفولوجية والفيزيائية والكيميائية ونظم رطوبتها وحرارتها.

وتتأثر خصائص التربة وتوزيعها المكاني بصورة رئيسية بمادة الأصل والتضاريس والعمليات الجيومورفولوجية، حيث تنتشر إلى جانب الترب بعض الرواسب الريحية الرملية والسطوح الصخرية الجيرية والرواسب الفيضية في المجاري المائية وبطون الأودية.

وتتميز ترب المنطقة بوجود تراكمات من كربونات الكالسيوم والجبس والأملاح الذائبة، مع انخفاض نسبي في المادة العضوية، كما تتراوح مساميتها بين المتوسطة والعالية، وتتميز معظمها بنفاذية جيدة للمياه والسوائل، باستثناء بعض المواضع التي توجد بها طبقات متصلبة من الجبس أو كربونات الكالسيوم [10، 11].

وتكتسب هذه الخصائص أهمية في تقييم ملائمة مواقع المكبات، إذ إن ارتفاع نفاذية التربة قد يزيد من احتمالية انتقال العصارة والملوثات إلى الطبقات الأرضية والمياه الجوفية، في حين تمثل الترب ذات النفاذية المنخفضة نسبيًا قدرة طبيعية أكبر على الحد من حركة الملوثات. لذلك تعد خريطة التربة أحد المعايير المكانية المهمة ضمن نموذج اختيار مواقع المكبات، إلى جانب المياه الجوفية، وشبكة التصريف، والجيولوجيا، والانحدار، واستخدامات الأرض.

ويظهر في الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة نطاق محدود من الترب الكلسية–الجبسية، التي قد تتميز بنفاذية أقل نسبيًا، إلا أن تقييم ملائمتها للمكبات يتطلب دمج خصائصها مع بقية المعايير البيئية والهيدروجيولوجية، وعدم الاعتماد على التربة منفردة. ويوضح الشكل (3) التوزيع المكاني لأنواع الترب في منطقة الدراسة وعلاقتها بالخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية.



المناخ

نعد منطقة الدراسة منطقة انتقالية بين التأثير المتوسطي والتأثير الصحراوي والذي يسهم بشكل عام في تحديد كافة الحياة النباتية والحيوانية والحيوانية كما يسهم في تشكيل التربة والمياه الجارية والجوفية ويعتبر العامل الأساسي في توزيع السكان وكثافتهم. حيث تتأثر منطقة الدراسة بمناخ حوض البحر المتوسط الممطر بارد شتاءً والحار جاف صيفا [5].
وأهم عناصر المناخ هي كالآتي:

أ . درجات الحرارة

نظراً لقرب منطقة الدراسة من الساحل فإن درجات الحرارة معتدلة نسبياً مقارنة بالمناطق التي تقع في المناطق الداخلية البعيدة عن المؤثرات البحرية.

ومن خلال البيانات المشار إليها في الجدول (1) والشكل (5) فإنه تم تسجيل أقصى متوسط درجة حرارة تصل في فصل الصيف شهر أغسطس بمعدل 34º م وأدنى متوسط درجة حرارة درجة حرارة فصل الشتاء في شهر فبراير بمعدل 12.9º م

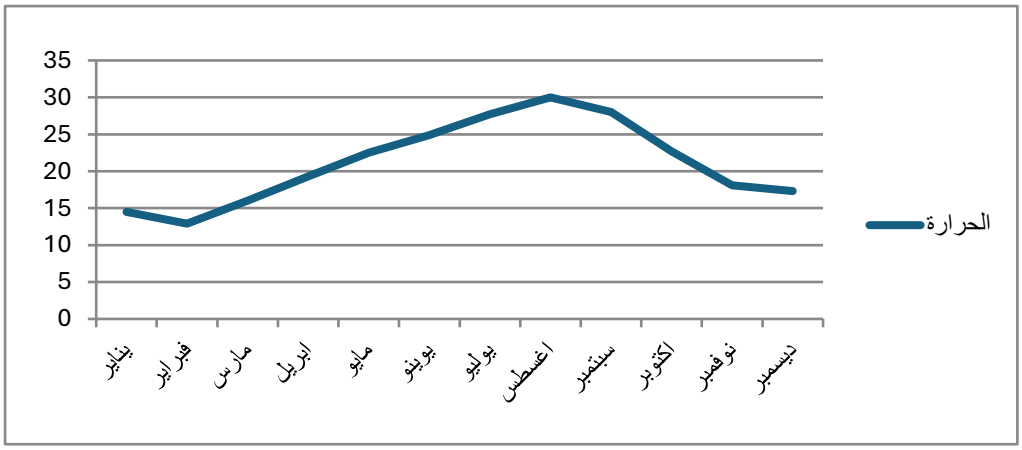
.

جدول(1) المتوسط الشهري لدرجات الحرارة مº بمدينة الزاوية للفترة من 1990– 2009 م

الشهر	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
متوسط الحرارة	14.5	12.9	16	19.3	22.5	24.9	27.7	34	28	22.7	18.1	17.3

المصدر : بيانات المركز الوطني للأرصاد الجوي ليبيا والهيئة العامة للمياه

شكل (4) خريطة التربة لمنطقة الدراسة



شكل(5) متوسط درجة الحرارة (مº) للفترة من 1990 – 2009 م

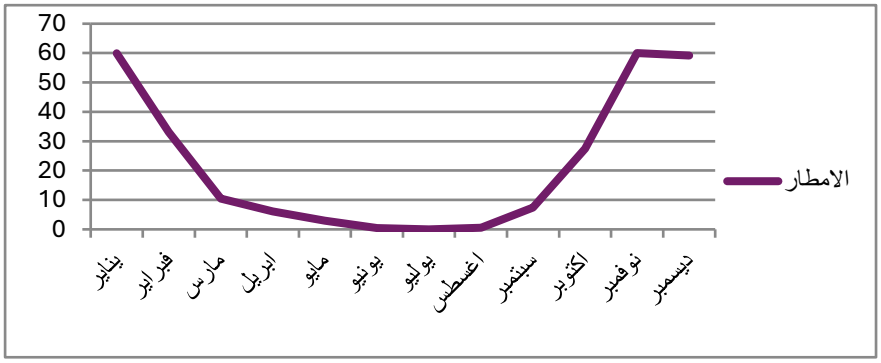
ب .الأمطـــار

تعتبر الأمطار مصدر من مصادر المياه في ليبيا لوقوعها ضمن إقليم المناخ المداري الجاف وشبه الجاف الذي يتميز بقلة الأمطار إلى الحد الذي لا يسمح بنمو غطاء نباتي كثيف وتتميز منطقة الدراسة بعدم الانتظام في كمية الأمطار من سنة لأخرى ومن شهر لآخر, ومن خلال البيانات المناخية في جدول (2) شكل (6) فإن موسم هطول الأمطار لمنطقة الدراسة يسجل اكبر كمية في أشهر(نوفمبر وديسمبر ويناير وفبراير) ثم تقل تدريجيا في مارس وابريل ويبدأ المعدل في الازدياد من جديد مع شهر أغسطس وتتباين معدلات الأمطار من سنة إلى أخرى.

جدول(2) المتوسط الشهري لكمية الأمطار(ملم) بمدينة الزاوية للفترة من 1990– 2009 م

الشهر	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
متوسط الامطار	59.9	33.1	10.5	6.1	3.0	0.4	0.0	0.5	7.4	27.5	60	59.2

المصدر: بيانات المركز الوطني للأرصاد الجوي لليبيا والهيئة العامة للمياه



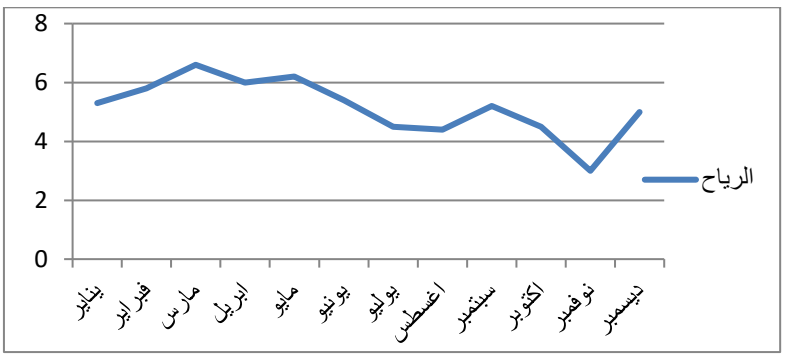
شكل (6) المتوسط الشهري لكمية الأمطار للفترة من1990 – 2009 م

جدول(3) المتوسط الشهري للرياح بالعقدة بمدينة الزاوية للفترة من 1990– 2009 م

الشهر	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
متوسط الامطار	5.3	5.8	6.6	6.0	6.2	5.4	4.5	4.4	5.2	4.5	3.0	5.0

ج . **الرياح**

تتعرض منطقة الدراسة لنوعين من الرياح الشمالية الشرقية خلال فصل الشتاء وتحمل معها الكتل الهوائية الباردة والتي تسبب في انخفاض درجات الحرارة كما تتعرض إلى الرياح الجنوبية (القبلي) خلال فصلي الخريف والصيف والتي تسبب في ارتفاع درجات الحرارة كما تتعرض إلى رياح غربية تحمل معها الرطوبة وتسبب الأمطار، ويبين الجدول (3) والشكل (7) اختلاف سرعة الرياح بين فصلي الشتاء والصيف نتيجة لتأثير تدرج الضغط الجوي واختلافاته المكانية والفصلية.

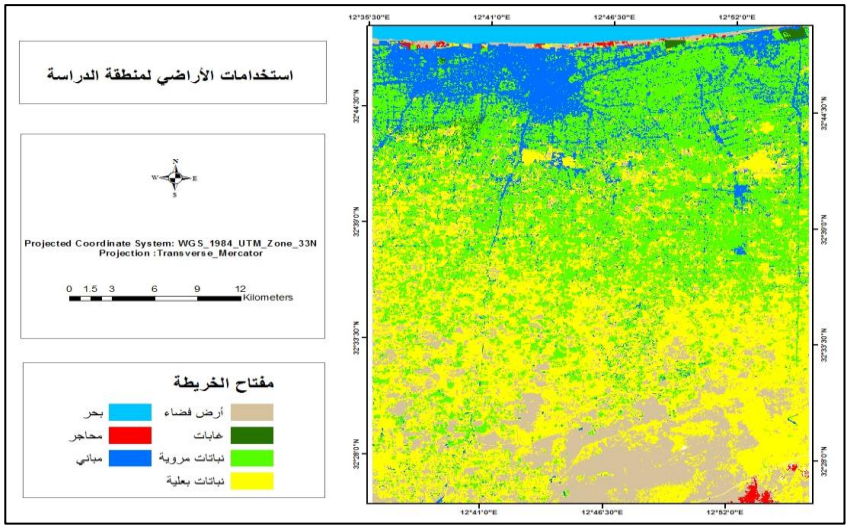


المصدر: بيانات المركز الوطني للأرصاد الجوي لليبيا والهيئة العامة للمياه (العقدة = ميل بحري / ساعة.)

المرحلة الثانية

- **تحليل البيانات باستخدام تقنتي الاستشعار عن بعد:**

تـم في هـذه المرحلة التحلـيل والتفـــسير البصري للصور وتم تصنـيف الصورة إلى أصناف مختلفة باستخدام منظومة (Erdas imagine) وإنتاج خريطـــة استخدام الأراضي[6] . شكل (8)



شكل (8) استخدمات الاراضي لمنطقة الدراسة

باستخدام خريطة استحدام الاراضي وبرنامج (ARCGIS 10.8) يمكن حساب المساحة لكل صنف في منطقة الدراسة جدول(4)

جدول (4) مساحة الاراضي لمنطقة الدراسة

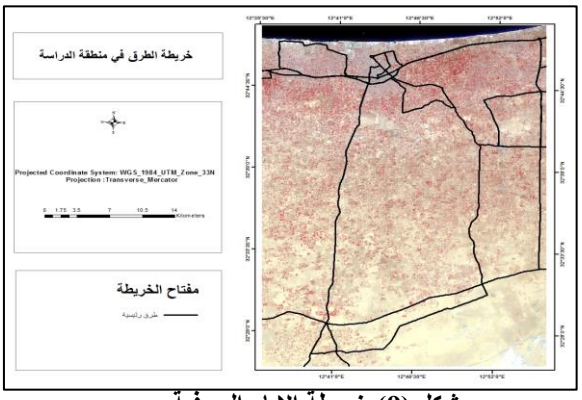
التصنيف	أرض فضاء	غابات	نباتات مروية	نباتات بعلية	محاجر	مباني
المساحة /كم²	126	2	321	406	3	87

المرحلة الثالثة

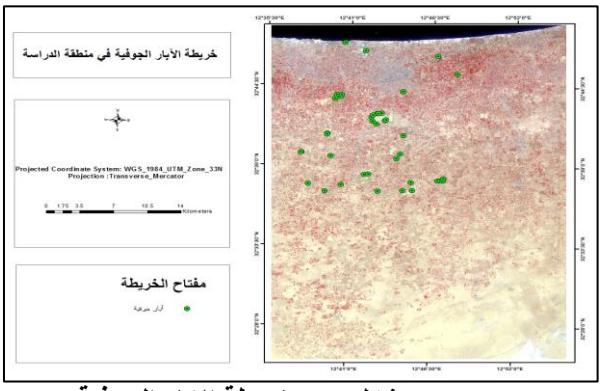
1. **إعداد الخرائط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية**

تم في هذه المرحلة إعداد مجموعة من الخرائط والطبقات المكانية اللازمة لتقييم ملائمة مواقع إنشاء مكب النفايات، وذلك باستخدام برنامج ArcGIS 10.8. وشملت هذه المرحلة معالجة البيانات المكانية وتحويل البيانات المصنفة من صيغة Raster إلى صيغة Vector عند الحاجة، بما يتيح إجراء عمليات التحليل المكاني عليها.

كما تم إعداد وإنتاج خرائط تمثل أهم المعايير المؤثرة في اختيار مواقع المكبات، ومنها شبكة الطرق، والآبار الجوفية، والانحدار، والمباني، والغطاء النباتي، بالاعتماد على البيانات المتاحة، بما في ذلك بيانات الآبار الجوفية الصادرة عن الهيئة العامة للمياه [7]. وتمثل هذه الخرائط قاعدة البيانات المكانية التي اعتمد عليها التحليل اللاحق لتحديد درجات الملائمة المكانية واختيار المواقع المناسبة لإنشاء مكب النفايات. ويوضح ذلك الأشكال (9، 10، 11).

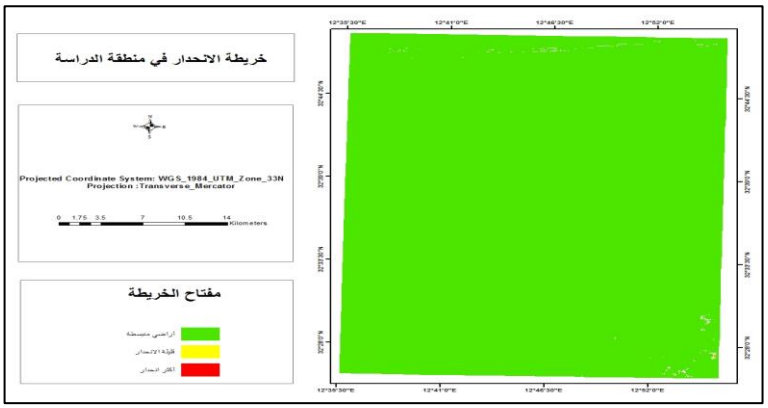


شكل (9) خريطة الابار الجوفية



شكل(10) خريطة الابار الجوفية

شكل



شكل (11) خريطة الانحدار

2. المعايير المعتمدة لاختيار مواقع مكبات النفايات

اعتمدت الدراسة مجموعة من المعايير البيئية والطبيعية والبشرية لتقييم ملائمة المواقع المقترحة لإنشاء مكب النفايات، وذلك بالاستناد إلى الدراسات ذات الصلة، وإلى الإرشادات لاتفاقية بازل المتعلقة باختيار مواقع المدافن والتخلص الآمن من النفايات، مع مراعاة الخصائص المحلية لمنطقة الدراسة. وتؤكد هذه الإرشادات أهمية دراسة العوامل الهيدروجيولوجية والجغرافية والعمرانية عند اختيار مواقع المكبات، ولا سيما مصادر المياه، واستقرار الموقع، والهيدرولوجيا السطحية، والقرب من المناطق العمرانية.

وقد جرى تصنيف معايير الاختيار إلى مجموعات رئيسية تشمل المعايير البيئية، ومعايير التربة، والمعايير الطبوغرافية، والمعايير الاجتماعية والاقتصادية، والمعايير المناخية. تم تمثيل هذه المعايير مكانيًا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وإجراء عمليات التحليل وإعادة التصنيف والتراكب المكاني للوصول إلى خريطة توضح درجات الملائمة المكانية لمواقع المكبات.

وتتمثل أهم المعايير المعتمدة في: البعد عن الآبار الجوفية، ونفاذية التربة، ودرجة الانحدار، واستقرار الموقع وخلوه من الجروف ومناطق الانهيارات المحتملة، والبعد عن الطرق والمناطق السكنية، إضافة إلى كمية الأمطار ودرجة الحرارة واتجاهات الرياح السائدة. ويوضح **جدول** (5) هذه المعايير والقيم المعتمدة في الدراسة.

جدول (5) معايير اختيار أفضل مواقع لمكبات النفايات الصحية

المعايير	العناصر
المعايير البيئية	البعد عن الآبار الجوفية بمسافة لا تقل عن 2 كم
معايير التربة	أن تكون التربة ذات نفاذية منخفضة
المعايير الطبوغرافية	نسبة الانحدار 5% انحدار مثالي ولا يزيد عن 25%
	خلو الموقع من الجروف الجبلية أو اتجاه الانهيارات المحتملة
المعايير الاجتماعية والاقتصادية	البعد عن الطرق الرئيسية بمسافة لا تقل عن 500م
	البعد عن المناطق السكنية بمسافة لا تقل عن 500م
المعايير المناخية	كمية الأمطار: تفضل المناطق الأقل مطراً للتقليل من عصارة النفايات إلى أقصى حد
	درجة الحرارة: تفضل المناطق الأعلى حرارة لزيادة معدلات التبخر للعصارة السوداء
	دراسة اتجاهات الرياح السائدة لاختيار افضل مكان ملائم

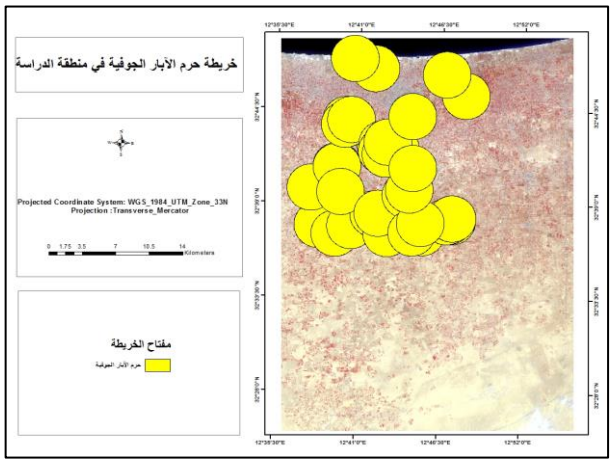
المصدر: إعداد الباحثين بناءًعلى (اتفاقية بازل الخاصة بالنفايات الخطرة والبيئة تحت اشراف برنامج الامم المتحدة للبيئة

إعداد خرائط المناطق غير الملائمة لإقامة المكب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

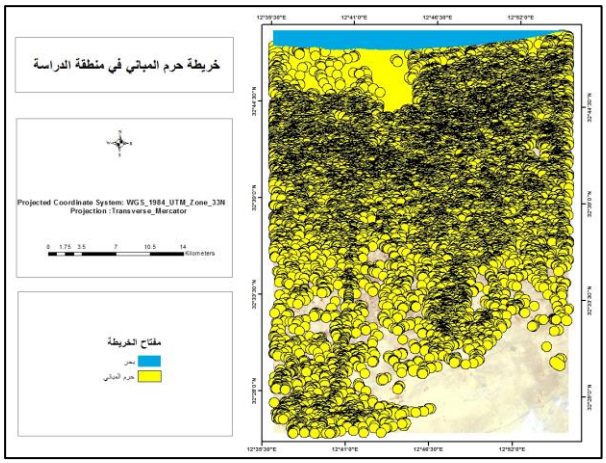
تهدف هذه المرحلة إلى تحديد واستبعاد المناطق الغير ملائمة لإنشاء مكب النفايات، من خلال تطبيق مجموعة من معايير الاستبعاد الموضحة في جدول (5)، والتي تم تحديدها بالاستناد إلى المتطلبات البيئية والتشريعية ذات العلاقة، بما في ذلك ما ورد في اتفاقية بازل بشأن التحكم في نقل النفايات الخطرة والتخلص منها، الصادرة عام 1989م تحت إشراف برنامج الأمم المتحدة للبيئة.

وتتطلب عملية تحديد مناطق الاستبعاد دراسة الخصائص الطبيعية والبشرية لمنطقة الدراسة، وتحليل الخرائط المتعلقة باستخدامات الأرض وشبكات الطرق والمياه الجوفية والمباني والغطاء النباتي وغيرها من العوامل ذات الصلة. وقد تم تمثيل معايير الاستبعاد في صورة طبقات مكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، ثم تحليلها ودمجها بهدف تحديد المناطق التي تتعارض خصائصها مع متطلبات إنشاء مكبات النفايات.

وبناءً على ذلك، تم استبعاد المناطق التي قد يؤدي إنشاء المكب فيها أو التخلص من النفايات داخلها إلى زيادة المخاطر البيئية أو التأثير في السكان أو الموارد الطبيعية، بحيث تمثل المناطق المتبقية نطاقًا أوليًا للمواقع القابلة للدراسة في مراحل التقييم اللاحقة. وتوضح الأشكال (12، 13، 14، 15) خرائط المناطق المستبعدة وفق المعايير المعتمدة.

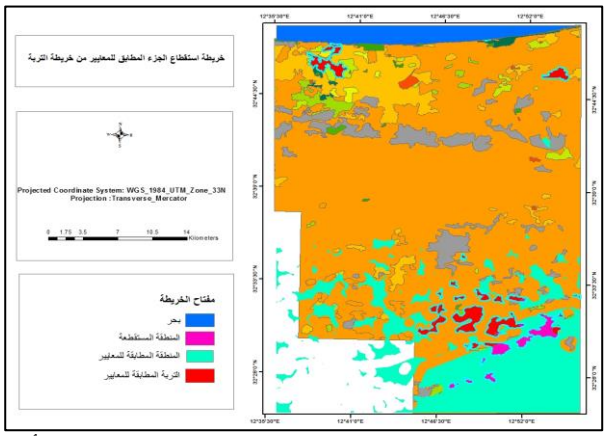


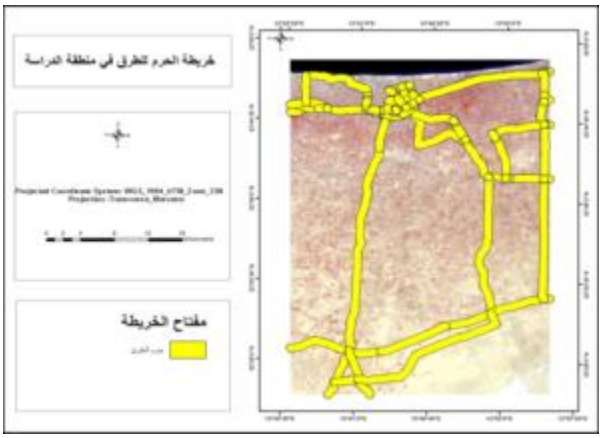
شكل (12) خريطة حرم الابار الجوفية



شكل (13) خريطة حرم المباني والغطاء النباتي

3. *إلغاء* حرم الطرق والمباني والغطاء النباتي والتربة





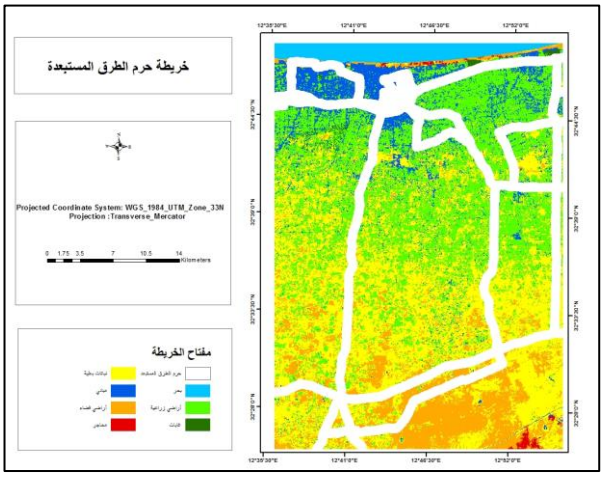
تم في هذه المرحلة استخدام برنامج ArcGIS 10.8 وأدوات التحليل المكاني المتاحة ضمن الـ Toolbox لتطبيق معايير الاستبعاد المعتمدة في الدراسة. حيث تم أولًا تحديد نطاق الحرم الخاص بالطرق واستبعاده من منطقة الدراسة، وإنتاج خريطة للمناطق الواقعة خارج نطاق الحرم.

بعد ذلك، استُخدمت الخريطة الناتجة لتطبيق نطاق الحرم المحدد حول الآبار الجوفية، وإنتاج طبقة مكانية تستبعد حرم الطرق والآبار الجوفية معًا. ثم أُجريت عمليات الاستبعاد المكاني للمناطق المبنية والغطاء النباتي، بهدف تحديد المناطق الخالية من الاستخدامات والعناصر التي تتعارض مع إنشاء المكب.

وفي مرحلة لاحقة، تم تطبيق معيار التربة من خلال تحديد الوحدات الترابية التي تستوفي شرط النفاذية المعتمد في الدراسة، ودمجها مع الطبقات الناتجة من عمليات الاستبعاد السابقة. كما تم تطبيق معيار الانحدار، واستبعاد المناطق التي تتجاوز قيمة الانحدار المحددة ضمن معايير الدراسة، والإبقاء على المناطق التي لا تتجاوز 25%.

وبعد دمج طبقات المعايير باستخدام عمليات **التراكب** والاستبعاد المكاني (Spatial Overlay)، تم إنتاج خريطة نهائية توضح المناطق التي تستوفي المعايير المعتمدة في هذه المرحلة، وتمثل المناطق المرشحة مبدئيًا لإقامة مكب النفايات. وتوضح الأشكال (16، 17، 18، 19، 20) مراحل عمليات الاستبعاد ونتائج التحليل المكاني وصولًا إلى خريطة المناطق المرشحة.

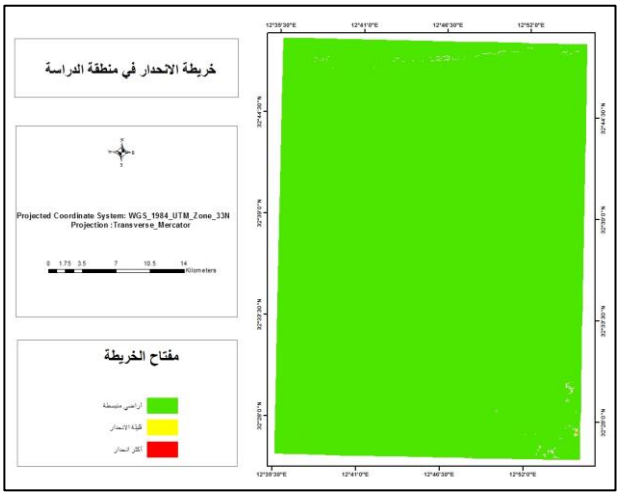
شكل (14) خريطة حرم التربة



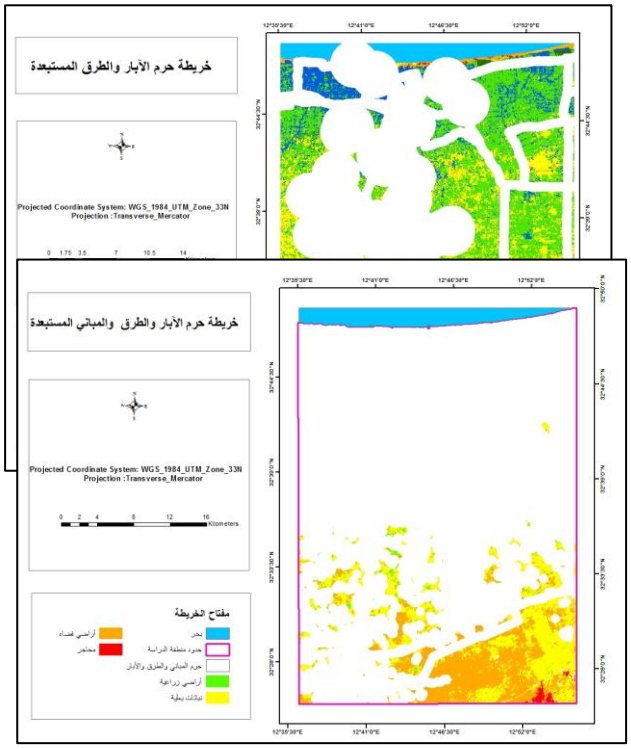
شكل (15) خريطة حرم الطرق

شكل (16) خريطة إلغاء حرم الطرق

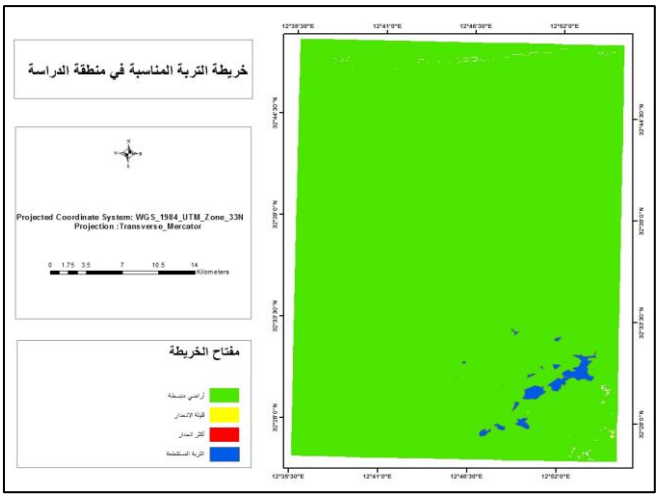
شكل (17) خريطة إلغاء حرم الطرق والآبار



شكل (18) خريطة الإنحدار



شكل (19) خريطة حرم الآبار والطرق والمباني المستبعدة



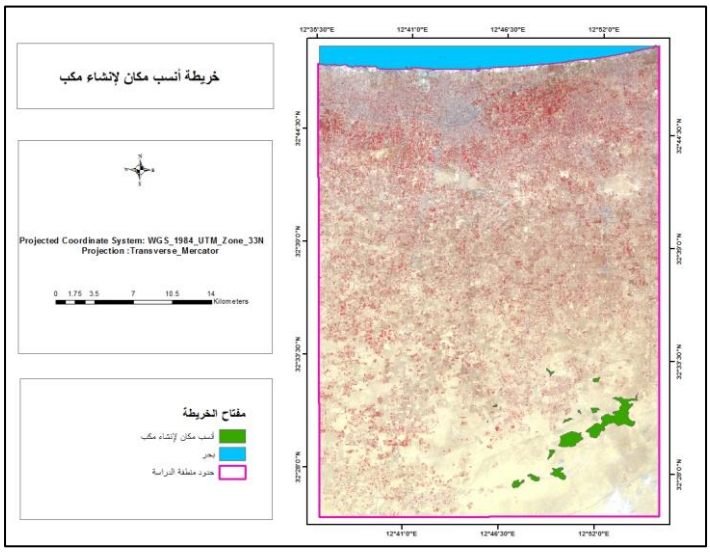
شكل (20) خريطة التربة المناسبة

- **أنسب موقع لإقامة مكب (المواقع المثلى)**

أظهرت نتائج التحليل المكاني وتطبيق منهجية الملائمة المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد وجود تفاوت في درجة ملائمة منطقة الدراسة لإقامة مكبات النفايات. وقد تم تحديد المواقع المثلى بناءً على التكامل بين مجموعة من المعايير البيئية والطبوغرافية والاجتماعية والاقتصادية وخصائص التربة والعوامل المناخية، مع إعطاء الأوزان النسبية المناسبة لكل معيار وفقًا لأهميته في اختيار موقع المكب.

وبعد إدخال المعايير وإعادة تصنيفها ومعالجتها ودمجها باستخدام أساليب التحليل المكاني، تم إنتاج خريطة رقمية توضح درجات الملائمة المكانية لمواقع مكبات النفايات. وقد قُسّمت النتائج إلى عدة مستويات، تتراوح بين المناطق غير الملائمة، منخفضة الملائمة، متوسطة الملائمة، ومرتفعة الملائمة، بحيث تمثل المناطق ذات درجات الملائمة المرتفعة المواقع الأكثر توافقًا مع معايير إنشاء المكب، بينما استُبعدت المناطق التي تتعارض مع أحد المعايير الأساسية أو أكثر.

وتتيح الخريطة الرقمية الناتجة تحديد المواقع المقترحة بصورة مكانية دقيقة، كما توفر إمكانية تحديث النتائج وإعادة تحليلها عند إضافة بيانات جديدة أو حدوث تغيرات في منطقة الدراسة. وبذلك أسهم استخدام نظم المعلومات الجغرافية وتحليل الصور الفضائية في الوصول إلى تقييم مكاني متكامل للمواقع المحتملة، ودعم اختيار الموقع الأنسب وفقًا للمعايير المعتمدة في الدراسة، كما هو موضح في[3]. شكل (21).



شكل (21) خريطة أنسب مكان لإنشاء مكب

النتائج

بناءً على الدراسة والتحليل المكاني السابق، وباستخدام منظومة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS 10.8) ومجموعة أدوات التحليل المكاني (Toolbox)، تم تطبيق مجموعة من المعايير البيئية والطبيعية والاجتماعية والاقتصادية، بالاستناد إلى معايير اتفاقية بازل بشأن التحكم في نقل النفايات الخطرة والتخلص منها عبر الحدود لعام 1989م، كما هو موضح في جدول (5). وقد أسفرت عملية التحليل المكاني ودمج الطبقات والمعايير عن النتائج الآتية:

1. عدم ملائمة منطقتي الزاوية المركزية والزاوية الغربية لإقامة مكب للنفايات، حيث لم تظهر نتائج التحليل وجود مواقع تستوفي المعايير المحددة للدراسة. ويُعزى ذلك إلى مجموعة من العوامل، أهمها:
   - ارتفاع الكثافة السكانية ووجود التجمعات العمرانية.
   - وجود مساحات من الأراضي الزراعية.
   - انتشار الآبار الجوفية ومصادر المياه.
   - قرب بعض المناطق من الشواطئ البحرية.
   - عدم ملائمة خصائص التربة في بعض المواقع، نتيجة قابليتها العالية نسبيًا لنفاذ وتسرب السوائل الملوثة، الأمر الذي قد يزيد من احتمالية وصول الملوثات إلى المياه الجوفية.
2. تحديد موقع واحد ملائم في منطقة الزاوية الجنوبية، بلغت مساحته وفق نتائج التحليل المكاني حوالي 10.019 كم²، وذلك ضمن نطاق الإحداثيات الواردة في الدراسة، والمتمثلة في خطي طول(′46 °12 –′56 °12) شرقًا ودائرتي عرض(′26 °32–′33 °32) شمالًا، وقد أظهر الموقع توافقًا أكبر مع مجموعة المعايير المستخدمة في عملية تحديد المواقع المثلى.
3. أظهرت منطقة الزاوية الجنوبية درجة أعلى من الملائمة المكانية مقارنة بالمناطق الأخرى، ويرتبط ذلك بتوافر مجموعة من الخصائص الطبيعية والبيئية التي تدعم ملائمتها لإنشاء المكب وفق معايير الدراسة، إذ تتميز بدرجات حرارة مرتفعة نسبيًا، وبُعد نسبي عن البحر والآبار الجوفية والأراضي الزراعية، إضافة إلى انخفاض معدلات سقوط الأمطار وفق البيانات المناخية المعتمدة في الدراسة.
4. كما أظهرت نتائج تحليل التربة أن الموقع المختار يتميز بوجود تربة جبسية، وقد أُخذت خصائصها ضمن معايير تقييم الموقع. وبناءً على المعايير المعتمدة في الدراسة، ساهمت خصائص الموقع الطبيعية والمناخية والتربة في رفع درجة ملائمته مقارنة بالمناطق المستبعدة.
5. وبصورة عامة، بيّنت نتائج التحليل باستخدام ArcGIS 10.8 أن دمج المعايير البيئية والطبوغرافية والمناخية والاجتماعية وخصائص التربة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية مكّن من تحديد مناطق الاستبعاد والمناطق الأكثر

ملائمة بصورة مكانية واضحة، وقد خلصت الدراسة إلى أن الموقع المحدد في منطقة الزاوية الجنوبية هو الموقع الذي استوفى المعايير المعتمدة ضمن منطقة الدراسة، في حين لم تحقق منطقتا الزاوية المركزية والزاوية الغربية الشروط المطلوبة وفق نتائج التحليل.

وبذلك توضح النتائج أهمية استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد في اختيار مواقع مكبات النفايات، من خلال التكامل بين مختلف المعايير وإظهار درجة ملائمة كل موقع على الخريطة الرقمية، بما يساعد على الحد من الآثار البيئية المحتملة ودعم عملية اتخاذ القرار المكاني.

التوصيات

استنادًا إلى نتائج الدراسة، التي أظهرت محدودية المواقع الملائمة لإقامة مكب للنفايات، توصي الدراسة بما يأتي:

1. التوسع في إنشاء مصانع حديثة لإعادة تدوير النفايات للحد من كميات النفايات المتجهة إلى المكبات والاستفادة من المواد القابلة لإعادة الاستخدام.
2. تنفيذ برامج للتوعية والتثقيف البيئي لنشر ثقافة فرز النفايات من المصدر، بدءًا من المنزل وحتى مراحل الجمع والمعالجة وإعادة التدوير.
3. تطوير منظومة جمع ونقل النفايات ووسائل النقل المخصصة لها، مع دراسة إمكانية إنشاء خط سكة حديد محلي لنقل النفايات وفقًا للجدوى الفنية والاقتصادية والبيئية.
4. إجراء دراسات دورية للموقع المقترح باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد، لمتابعة التغيرات العمرانية والزراعية والبيئية وإعادة تقييم ملائمة الموقع.
5. إجراء دراسات جيولوجية وهيدرولوجية وهندسية وبيئية تفصيلية قبل اعتماد الموقع وتنفيذ المكب، مع التحقق ميدانيًا من خصائص التربة والمياه الجوفية.
6. تحديث قاعدة البيانات الجغرافية باستمرار وإدخال المتغيرات الجديدة، مثل التوسع العمراني وتغير استخدامات الأراضي ومصادر المياه وشبكات الطرق، وإعادة تحليلها باستخدام برنامج ArcGIS.

- **البحوث والمراجع:**

1. إبراهيم أحمد بادي, علي محمد عبد الشاهد,عبد الله إبراهيم العجيل, 2021, إختيار موقع لمكب النفايات البلدية الصلبة بمدينة مصراتة – ليبيا باستخدام الطرق متعددة المعايير.

2. اروى محمد عمر, اسراء مختار محمد عباس, ميار محمد مختار, 2020,اختيار افضل موقع لردم نفايات صلبة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية, كلية الهندسة, جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا, السودان .

3. خالد رمضان بن محمود,الترب الليبية, 1995, دار الكتب الوطنية, بنغازي, ليبيا .

4. خالد رمضان بن محمود, د.حمدي عبد الخالق الزرقاني, 2026 , الترب الليبية, دار الكتب الوطنية, بنغازي, ليبيا،الطبعة التانية.

5. ريم علي محمود الزردومي, 2019, استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحديد الموقع الأمثل لدفن النفايات الصلبة بمدينة بنغازي –ليبيا.

6. غسان عبدالله علي البرش, 2014, استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تقييم مستويات التلوث الضوضائي في مدينة غزة , الجامعة الاسلامية, غزة .

7. ضرغام عبداللطيف شتية, احمد رأفت غضية, 2016, اختيار افضل المواقع لمكبات النفايات في الضفة الغربية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية, الاردن .

8. شريفي طارق، عثماني كوثر, 2018, استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تسيير النفايات الصلبة المنزلية, جامعة العربي بن مهيدي,الجزائر.

9. منى علي دعبج, حسين كاظم عبدالحسين, 2017, تحديد مواقع الطمر الصحي للنفايات في فضاء كركوك باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية, الجامعة المستنصرية, بغداد, العراق .

10. نشرة سنوية تصدر عن مصلحة الاحصاء والتعداد, 2023, الكتاب الاحصائي, وزارة التخطيط، حكومة الوحدة الوطنية.
11. وليد زهمول, م.وفاء الذوادي, 2020, تحديد أنسب مكان لإنشاء مكب القمامة في مدينة صبراتة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.