اختيار أفضل المواقع لمكبات النفايات بمنطقة طرابلس الكبرى باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

سالم محمود عبدالـــله[1]
أكرم عبد السلام الكاسح[1]
سهام حسين بن خليفة[2]
أنس محمد المشـــري[1]

المستخلص:

تعد طرق التخلص من النفايات الصلبة بمنطقة طرابلس الكبرى من التحديات البيئية المستديمة، وخاصة أن المنطقة تشهد تغيرات منها النمو الديموغرافي، وتوسع في المناطق السكنية وامتداداتها المتسارعة خلال العشرين سنة الماضية، الأمر الذي نتج عنه زيادة في كمية النفايات المنزلية اليومية.

ومن أجل تسيير أمثل للمنطقة، والحد من المشاكل المتفاقمة من تراكم النفايات وسوء إدارتها، وجب القيام بالدراسات والأبحاث في هذا المجال بالاعتماد على التقنيات الحديثة واستخدام أدوات التحليل الفعالة مثل برامج نظم المعلومات الجغرافية لإدارة سليمة للنفايات الصلبة وحماية المنطقة من التأثيرات البيئية السلبية من هذه النفايات مثل تلوث التربة والمياه والهواء.

إن لتقنيات وعلوم الاستشعار عن بعد وبرامج نظم المعلومات الجغرافية دور جوهري في التخطيط السليم والإدارة، حيث تضع بين يدي صناع القرار جميع المعلومات والبيانات والتحاليل المكانية بأقل وقت وجهد، وذلك من أجل اقتراح مشاريع

[1]– المركز الليبي للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء
[2]- الهيئة الليبية للبحث العلمي

تنمية مستدامة وتخطيط حضري سليم يمكن من خلال تنفيذها إيجاد الحلول لمشاكل بيئية واقتصادية داخل المجتمعات وتخريطها.

تهدف الورقة إلى توضيح أهمية تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في إدارة النفايات الصلبة، ومساعدة صناع القرار في تحديد أفضل الأماكن الجغرافية للمكبات الصحية داخل منطقة الدراسة.

استخدم البحاث في هذه الدراسة أدوات التحليل المكاني ببرنامج نظم المعلومات الجغرافية *ArcGIS 10.8* لاختيار أفضل المواقع المناسبة لإقامة مكبات النفايات، حيث يرتبط اختيار موقع المكبات الصحية بمختلف الجوانب البيئية والاقتصادية والهيدرلوجية والجيولوجية والطبوغرافية، مثل البعد عن البحيرات والأنهار، والبعد عن الطرق الرئيسة، وعمق المياه الجوفية وغيرها من العوامل ومجموعة من المعايير المطورة التي تم اعتمادها في اتفاقية بازل العالمية الخاصة باختيار وتصميم وتشغيل مكبات النفايات الصلبة.

اعتمدت نتائج الدراسة على عدد (7) معايير التي تحصل البحاث على بياناتها وخرائطتها في هذه الورقة، وهي المباني، الطرق، معدل انحدار الأرض، واستخدامات الأراضي، والوديان السطحية، والتربة، والمياه الجوفية. وتم اشتقاق المعايير المطلوبة منها، وتم بناء للنموذج الهيكلي للنموذج الكارتوجرافي Model Builder وأداة التطابق الموزون *Weighted Overlay* لاستخراج خريطة صلاحية الأراضي *S*uitability Map لمواقع مكبات الفايات الصلبة.

الكلمات الافتتاحية: النفايات، معايير، نظم المعلومات الجغرافية، مكب .

المقدمة

النفايات الصلبة مواد مرفوضة من المجتمع، تتولد من مصادر مختلفة مثل مخلفات المواد المنزلية، والتجارية، والصناعية، وتعد كل مواد غير مرغوب فيها أومستبعدة ناتجة عن الأنشطة البشرية المختلفة نفايات صلبة. ويمكن تصنيفها بناءً على تركيبتها مثل مادة عضوية، أو زجاج، أو معدن، أو بلاستيك، أو ورق، أو على أساس خطورتها مثل سامة، أو غير سامة، أو قابلة للاشتعال، أو مشعة، أو معدية. وهي نتيجة ثانوية للنشاط البشري الذي من المتوقع أن يزداد مع نمو سكان العالم، وتسارع التوسع الحضري، وتحسن مستويات المعيشة، وتحول أنماط الاستهلاك.

أصبحت إدارة النفايات الصلبة مصدراً للمشاكل البيئية والصحية ومصدراً مثيراً للقلق فيما يتعلق بتدهور الأراضي، وفقدان التنوع البيولوجي، وتلوث الهواء، والصرف الصحي، وانتشار الأمراض المعدية في العديد من مدن البلدان النامية. كما تتضمن إدارة النفايات الصلبة بصفة عامة أنشطة التجميع والنقل واستعادة الموارد وإعادة التدوير والمعالجة، إضافة إلى البحث عن مواقع مناسبة للتخلص من النفايات الصلبة للمحافظة على البيئة والصحة.

في معظم البلدان النامية، تتفاقم مشاكل سوء إدارة النفايات الصلبة بسبب النمو السكاني السريع في المناطق والتجمعات الحضرية الذي يطغى على قدرة الحكومة على تقديم الخدمات الأساسية في المراكز الحضرية. ولهذا السبب، لا يتم جمع معظم النفايات الصلبة المتولدة في البلدان النامية. ونتيجة لذلك، يتم التخلص من النفايات البشرية غير المجمعة وبشكل عشوائي في الشوارع وفي المصارف. وبذلك، فقد أصبحت مصدراً لتكاثر الحشرات ونواقل القوارض، وانتشار الأمراض[1] .

لقد أصحبت تشكل هذه النفايات ومواقع مكبات النفايات وطرق التخلص منها مشكلة أكبر من أي وقت مضى، وخطراً على حياة الإنسان والثروة الحيوانية والنباتات والبيئة. وان عدم إدارتها بالصورة الصحيحة من جمع، ونقل، ومعالجة، والتخلص منها سينجم عنها تلوث في المياه السطحية والجوفية، وتلوث التربة، الهواء [2].

إن لعلوم الاستشعار عن بعد وبرامج نظم المعلومات الجغرافية دور أساسي في التخطيط السليم والإدارة، حيث تضع بين يدي صناع القرار البيانات والتحليل والتفسير بشكل مكاني وعلى الخرائط، وذلك في شتى التطبيقات مثل الزراعية والمائية والبيئية والتخطيط الحضري للمدن.

تعد نظم المعلومات الجغرافية أداة تحليلية مكانية إحصائية مهمة في دراسات اختيار أنسب المواقع الجغرافية، وتساعد صناع القرار لتحديد أفضل المواقع لإنشاء سدود على الأنهار، وتحديد الأراضي للاستعمالات الزراعية، والمدارس والمؤسسات التعليمية، وإنشاء مصادر الطاقة الشمسية، وأفضل المواقع لإنشاء مطمر النفايات الصلبة، وتساعد على تعريف واشتقاق المعايير التخطيطية المكانية التي سيتم على أساسها تحديد أنسب الأماكن، وتحويلها إلى خرائط. [3].

مشكلة الدراسة:

تعاني عدة أحياء بطرابلس الكبرى من زيادة المستجمعات السكانية العشوائية وزيادة في عدد السكان بالعاصمة طرابلس والمناطق المجاورة لها داخل نطاق الحدود الإدارية لمنطقة طرابلس الكبرى، وتعد أهمية المنطقة من حيث النشاطات الاقتصادية والصناعية، علاوة على التوسع في البناء العمراني، الأمر الذي أدى في عدم قدرة البلديات للتخلص من النفايات، ومن حين إلى آخر تراكم هذه النفايات في الشوارع نتيجة لإغلاق مكبات النفايات المؤقتة أو نتيجة امتلائها وعدم قدرتها على استيعاب كميات إضافية من النفايات. الأمر الذي قد يسبب كارثة بيئية وصحية، حيث يتم التخلص من هذه النفايات في أغلب الحالات بحرقها في مكانها مما يتسبب في تلوث الهواء، وتسرب عصارتها إلى التربة، وتلوث المياه الجوفية بأماكنها.

هناك عدة طرق للتخلص من النفايات الصلبة مثل طريقة الحرق والترميد، إعادة التدوير، التجميع والحرق التي تؤدي إلى إطلاق غازات سامة، كما تزداد كمية

الجسيمات الموجودة في الغلاف الجوي نتيجة لهذه الممارسة. وإلى جانب مساهمتها بشكل كبير في الانبعاثات، ومن ثم ظاهرة الاحتباس الحراري، فإن هذه المركبات لديها أيضًا القدرة على إحداث ضرر خطير على الصحة العامة. وطريقة إنشاء مدافن النفايات هي نظام للتخلص من النفايات والقمامة، حيث يتم دفن النفايات بين طبقات الأرض، ويتم بناؤها بطريقة تتيح لها الاحتفاظ بمجموعة واسعة من النفايات، واستغلال غاز الميثان الذي ينتج التخمر وتحلل النفايات العضوية كمصدر للطاقة.

إن اختيار موقع ملائم لمطمر النفايات الصلبة تكون فيه إدارة التخلص من النفايات بطريقة صديقة للبيئة أمر مهم لصناع القرار، وقد اثبتت التقنيات الجيومكانية دورها المهم في وضع التصورات والسيناريوهات لمثل هذه الحالات [4].

وتساهم بشكل فعال في أنظمة إدارة النفايات الصلبة. حيث يمكن وضع عدة سيناريوهات لإختيار أنسب الأماكن لإنشاء مكب للنفايات وكذلك يمكن إنشاء الخرائط المكانية لملائمة وفق المعايير الدولية، وذلك لحماية حياة الإنسان والبيئة والصحة. كما أن أستخدام هذه التقنيات يمكن أن يساعد في إدارة النفايات الصلبة المستدامة، وبذلك تحقيق العديد من أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة، مثل ضمان المياه النظيفة والصرف الصحي (الهدف (6))، وإنشاء مدن مستدامة ومجتمعات شاملة (الهدف (11))، والتخفيف من تغير المناخ (الهدف (13))، وحماية الحياة على الأرض (الهدف 15)، وإظهار أنماط الاستهلاك والإنتاج المستدامة (الهدف 12 من أهداف التنمية المستدامة).

أهداف الدراسة:

الهدف الأساسي من هذا البحث هو إيجاد المكان المناسب لمكب النفايات في منطقة طرابلس الكبرى، وكذلك إظهار أهمية استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية في التحليل المكاني وإنشاء الخرائط واتخاد القرارات المناسبة والمفيدة للبيئة، وإدارة

النفايات بشكل صحيح. ويمكن ترتيب أهداف الدراسة على النحو التالي: –

- التعرف على المعايير المستخدمة في تخطيط أنسب المواقع لمكبات النفايات لمنطقة طرابلس الكبرى.
- بناء قاعدة بيانات لمنطقة الدراسة تحتوي على بعض المؤشرات والمعايير بإستخدام نظم المعلومات الجغرافية.
- تحليل واختيار المواقع الأنسب للمطمر الصحي بمنطقة الدراسة باستخدام أدوات التحليل ببرامج نظم المعلومات الجغرافية.
- إنشاء خريطة تحدد أنسب المواقع لإنشاء مكب صحي للنفايات بمنطقة الدراسة وتقديم المقترحات.

الدراسات النظرية:

بالرغم من ندرة الدراسات والأبحاث التي تناولت استخدمات التقنيات المكانية وبرامج نظم المعلومات الجغرافية في دراسة وتحديد أفضل الأماكان للمكبات في ليبيا عامة ومنطقة الدراسة طرابلس الكبرى خاصة، إلا أنه يوجد العديد من الأوراق العلمية والدراسات التي تحدثت في هذا المجال اقليمياً و دولياً.

عمل الدكاترة عبد الحميد الفناطسة وعايد طاران على تحديد أنسب مواقع مكبات النفايات في محافظة معان بالأردن، ودرس الباحثان مواقع مكبات المحافظة الموجودة بوضع معايير ومؤشرات جيولوجية وجيومورفولوجية واعتبارات بيئية واقتصادية، واستخدمت أدوات التحليل المكاني ببرامج نظم المعلومات الجغرافية وإنشاء الخرائط التي ساهمت في تقييم وتحديد أنسب الاماكن للمكبات والنفايات الصلبة [4].

مهيب وبشير [6] قاما بدراسة تحديد اماكن مكب بمدينة سرنغار بالهند باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وبالاعتماد على تقنية التقييم متعددة المعايير (MCE). واستخدم الباحثان في الدراسة عدد سبعة طبقات ومعايير في الدراسة وهي:

شبكة الطرق، خطوط السكة الحديدية، مكان المطار، المناطق السكنية، المناطق الصناعية، المناطق الزراعية، البحيرات والمياه السطحية، وتم إعداد حزام منطقة لكل معيار، ووضع وزن له حسب الاهمية، وتوصلت الدراسة إلى أن اكثر من 98% من منطقة الدراسة غير مناسبة لإنشاء مكب نفايات بها.

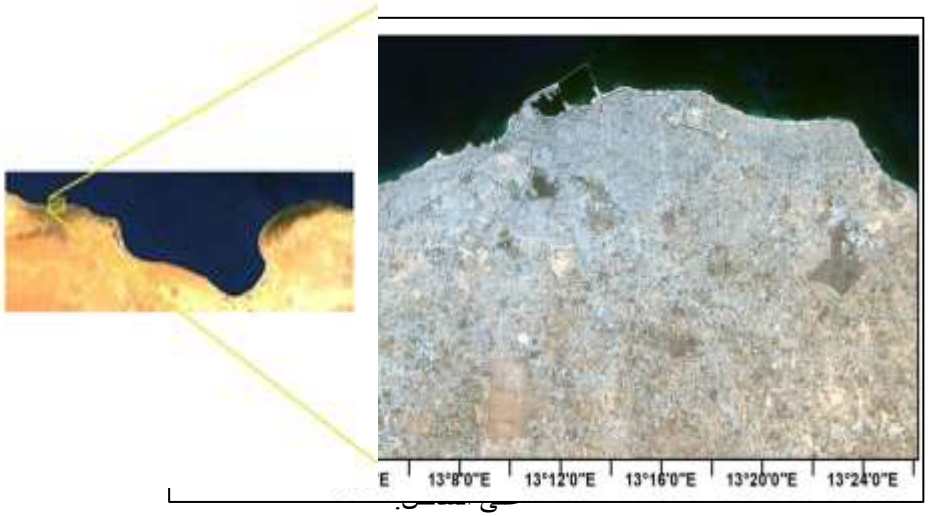
تعد نظم المعلومات الجغرافية أهم الأدوات المستخدمة في تحليل مدى ملائمة استخدامات الاراضي مؤخراً، وعند تكاملها مع طرق تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) مثل عمليات التسلسل الهرمي التحليلي (AHP)، أوالتركيبة الخطية الموزونة (WLC) فإنه سينتج طريقة ملائمة للمعايير المكانية المتعددة قوية جداً تساهم بشكل جوهري في تحديد الأماكن المناسبة لمكبات النفايات وبدقة مكانية عالية وتضع التصور باقل وقت وجهد لصناع القرار. هذه الطرق استخدمها الكثير من البحاث خلال الفترات الأخيرة. حيث اعتمدت الدراسات على عوامل أساسية مختلفة مثل البيئة، العوامل الاجتماعية والاقتصادية، والجيولوجية وغيرها قبل تحديد مواقع المكبات [7– 13].

منطقة الدراسة وطبيعتها:

تتمثل منطقة الدراسة في مساحة طرابلس الكبرى من تاجوراء شرقاً إلى جنزور غرباً، ومن البحر شمالاً إلى قصر بن غشير جنوباً، المنطقة تغطي المساحة الجغرافية بين دائرتي عرض (32^o 54’ 32^o 44’) شمالاً، وخطي طول (12^o 58’ 13^o 25’) شرقا، كما موضحة بالخريطة بالشكل (1).

تمثل منطقة الدراسة بمناخ البحر المتوسط، حيث يبقى المناخ حاراً ومشمساً في أغلب موسم الصيف، ولا تتساقط الأمطار خلاله إلا نادراً، ويصل متوسط درجات الحرارة في موسم الصيف إلى 30 درجة مئوية، وتحرك الرياح الشمالية على المنطقة وأحياناً جنوبية خلال موسم الربيع.

ويكون فصل الشتاء ممطراً وبارداً على المنطقة، حيث تبلغ درجات الحرارة ما بين 10 – 23 درجة مئوية. ويبلغ متوسط تساقط الأمطار بالمنطقة والمقاسة بين سنوات 1931م و سنة 2000م إلى ما يقارب 283 – 320 ملم سنوياً.



طريقة وخطوات العمل:

لمعرفة أفضل مواقع لمكبات النفايات الصلبة، اعتمدت الدراسة بأكملها على استخدام برنامج ArcGIS والبيانات الجغرافية المكانية والتقييم متعدد المعايير. ويساعد هذا النهج على اتخاذ القرارات بشكل أسرع وبأقل تكلفة من خلال تضييق نطاق الاختيارات بناءً على معايير وأوزان محددة. كما يسمح بتحليل النتائج لمعرفة مدى حساسيتها للعوامل المختلفة.

ويتضمن رسم الخرائط لاختيار موقع مكبات النفايات إنشاء طبقات مختلفة وتقييمها لإنتاج خريطة واحدة توضح أفضل المواقع. وتم تحديد أهمية كل معيار من

خلال بعملية التسلسل الهرمي التحليلي. تساعد هذه العملية في تحديد مدى أهمية كل معيار عند اتخاذ القرارات.

تم إنشاء نموذج للتحليل المكاني باستخدام Model Builder واتخاد أربع خطوات أساسية وهي:

1- إنشاء المعايير الأساسية لدراسة أنسب الأماكن وإنشاء خرائط لها وذلك وفق البيانات المتاحة للقائمين على هذه الدراسة.

2- إنشاء مسافات آمنة بعيدة عن الموقع المحتمل للمكب والتنوع في درجات الملائمة داخل كل طبقة لكل معيار، وتحديد تصنيف المناطق الغير ملائمة لكل معيار بناء على تقديرات المسافات والأعماق والأبعاد تخص المتطلبات المحلية.

3- تقييم المناطق المناسبة بناء على أوزان المعايير حسب أهميتها.

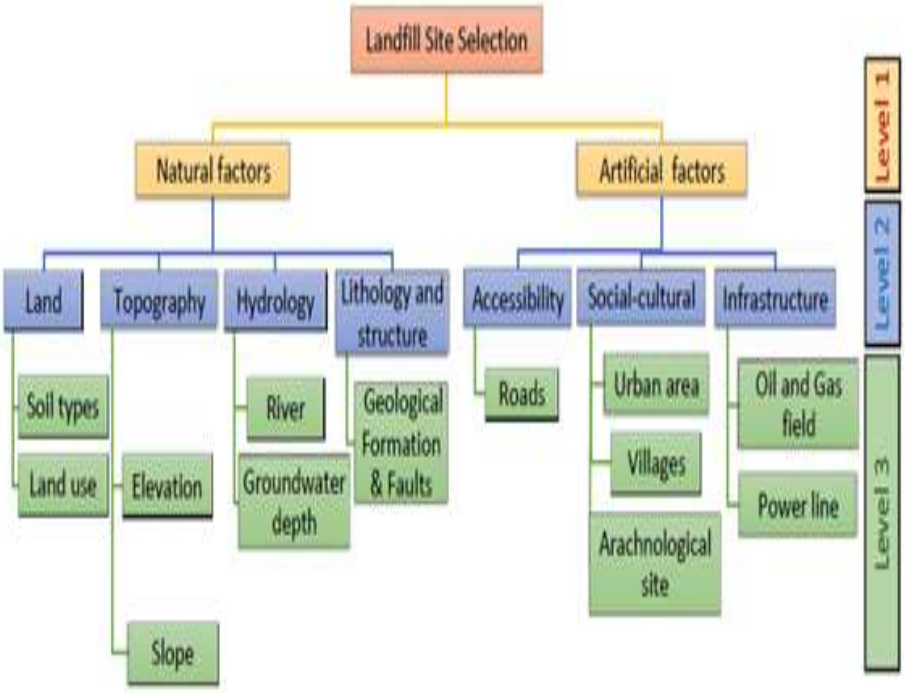
4- انتاج خريطة الملاءمة النهائية وتحديد المواقع المناسبة لإنشاء مكبات صحية بها (شكل .2).

تم استخدام بعض من أدوات التحليل المكاني ببرنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS 10.8، واستخدمت صورة القمر الصناعي Sentinel 2 بدقة مكانية 10م ونموذج المرتفعات الرقمي (DEM) لمنطقة الدراسة بدقة 12.5م لإنتاج الخرائط الرقمية لبعض المعايير.

كما استخرجت واستخدمت بعض الخرائط الرقمية مثل أنواع التربة، والطرق، والمباني وغيرها. حيث تم تحضير مجموعة من الطبقات تغطي منطقة الدراسة، وتمثل معايير الدراسة لاختيار أنسب الاماكن، وعددها سبع طبقات كما موضحة بالجدول رقم (1). ويتكون كل معيار من قاعدة بيانات لخريطة رقمية معدة. تم إضافة عدد من المناطق العازلة (Buffer Zones) لكل معيار وإعادة تصنيفه إلى خمسة احتمالات

(من مناطق ذات العوامل الاستبعادية وغير الملائمة للموقع إلى مواقع ملائمة جداً) قبل أن يتم استخدام بأداة Weighted Overlay لإنتاج خريطة ملائمة لأماكن مكبات النفايات الصلبة [10].

تم تقدير مسافات وابعاد مناطق الملائمة والغير ملائمة التي تم استخدامها بالورقة بالإعتماد على بيانات من وكالة حماية البيئة، وتصميم مكبات النفايات الصحية ومعايير تحديد مواقعها من البنك الدولي [14 – 15].



الشكل (2): مخطط هرمي لعملية اتخاد القرار لاختيار موقع مكب النفايات الصلبة.[16]

الجدول رقم (1): المعايير التي تم استخدامها ومناطق العزل لكل منها

المعيار	غير ملائم	ممكن ان يكون ملائم	ملائم جداً
استخدامات الأراضي	100 متر	150 – 450 متر	500< متر
المباني السكنية	100 متر	350 – 600 متر	700< متر
الوديان والمياه السطحية	150 متر	450 – 550 متر	600< متر
شبكة الطرق	800< متر	400 – 600 متر	100 متر
المياه الجوفية	50 متر	500 – 900 متر	1000< متر
انحدار الأرض	20^o<	10^o – 15^o	1^o – 5^o
انواع التربة	ناعم	متوسط الصلابة	صلب

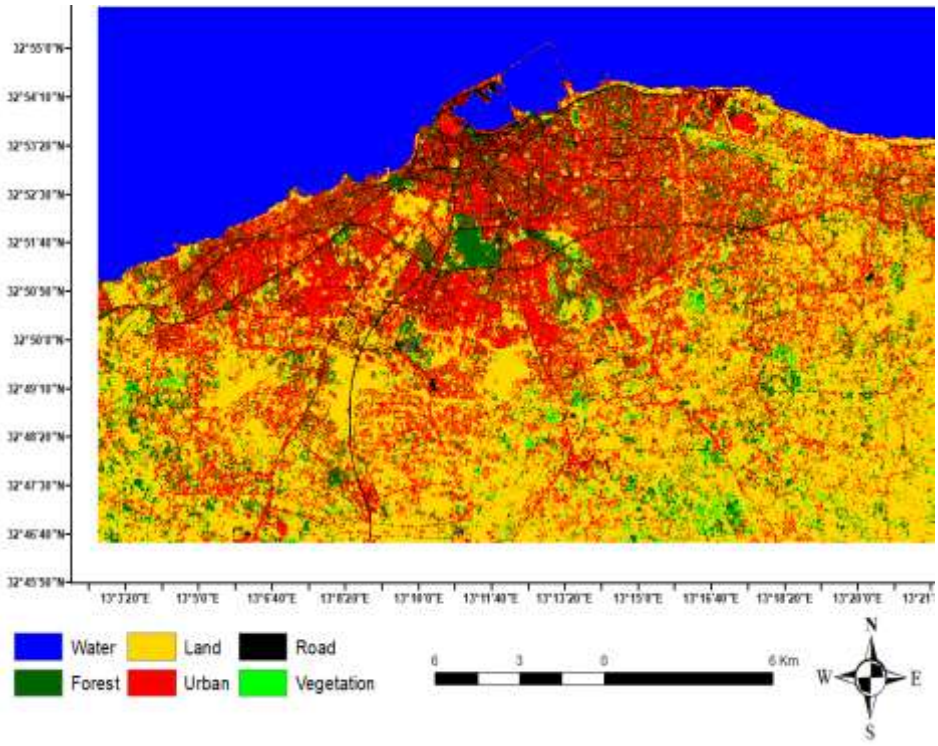
النتائج والمناقشة:

استخدامات الأراضي:

تعد من المعايير المهمة في تقليل النزاعات المرتبطة بالأرض، وتحديد القيود على استخدام الاراضي الزراعية والغابات أو قربها من مواقع مكبات النفايات الصلبة. وتتميز منطقة الدراسة بأنها مكثفة للغاية لاستخدام الأراضي بسبب التوسع العمراني والصناعي، والبنية التحتية للطرق والنقل والزراعة والمناطق الطبيعية.

استخدم برنامج ERDAS Imagine وصورة القمر الصناعي Sentinel 2 لمنطقة الدراسة لسنة 2021م لاستخراج خريطة استعمالات الأراضي (شكل.3)، حيث استخدم التصنيف الغير الموجه Unsupervised classification لعدد مبدئي (50) صنف، وتم جمع وتسجيل الاصناف المتشابهة والنقية، وإعادة تصنيف الأصناف المختلطة ودمجها باستخدام الإدارة Overlay و Mask.

وأخيراً تم إعادة تصنيف الغطاء الأرضي واستعمالاته إلى عدد خمسة تصنيفات من حيث الأهمية، لاختيار أنسب الأماكن لمكبات النفايات الصبية.



الشكل (3): خريطة استخدامات الأراضي لمنطقة الدراسة.

المباني السكنية:

يجب أن تقع مكبات النفايات على مسافة من المناطق السكنية بسبب الآثار الصحية، والتلوث، ومخاطره التي قد تسببها النفايات.

تم استخراج طبقة المباني من خريطة استعمالات الأراضي (شكل. 4A)، وتم إضافة مناطق عزل Buffer Zones باستخدام أداة Euclidean Distance. حيث تستخدم لنفس خريطة المعيار لاستخراج أكثر من تصنيف لحدود الملاءمة. تم تحديد

عدد خمسة تصنيفات أو حلقات عزل تبدأ من 100 متر وحتى أكثر من 800 متر في هذه الدراسة (شكل. 4B).

تم احتساب مناطق الملاءمة حول كل مجمع سكني، لهذا فإن الخريطة بالأسفل توضح بأن أغلب منطقة الدراسة غير صالحة لإنشاء مكب نفايات صحية، وفق المعايير والشروط التي تم استخدامها في هذا البحث.

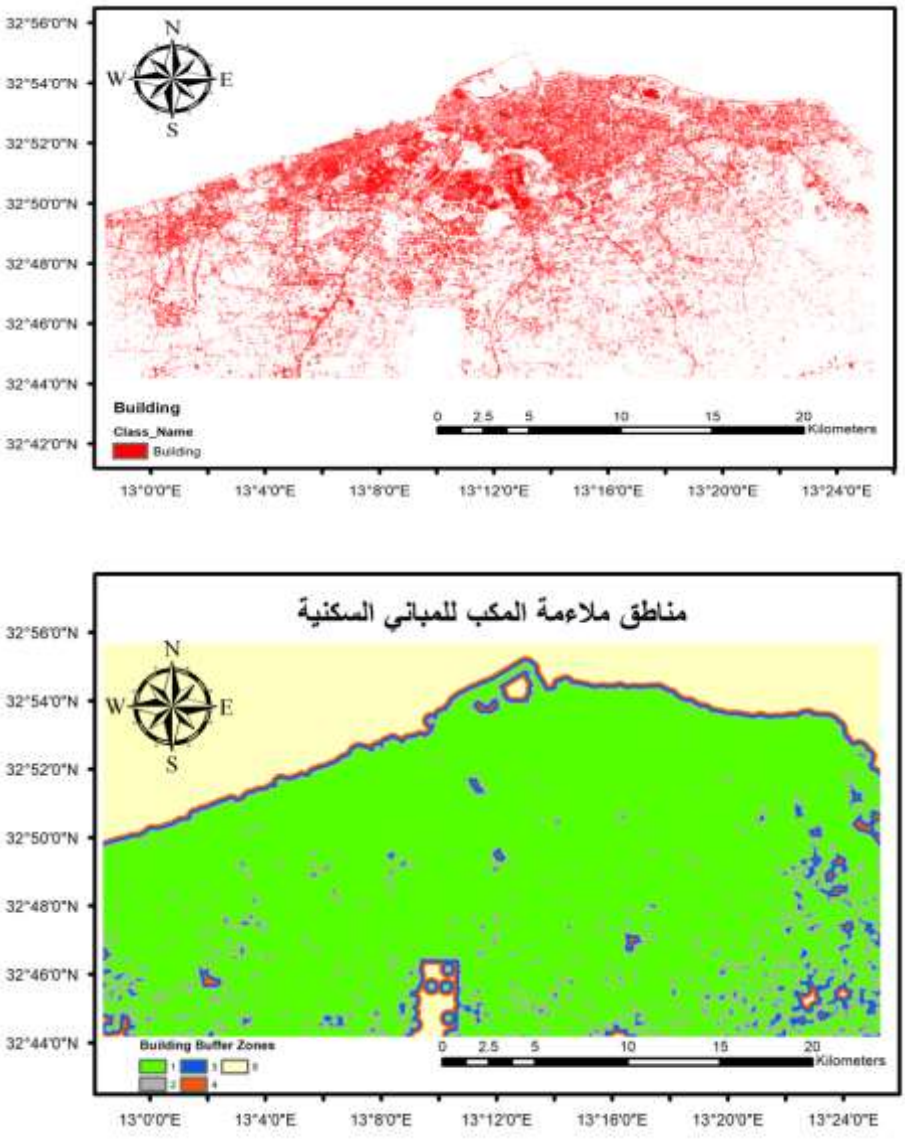
منطقة العزل رقم (1) تبعد عن المباني 100 متر، رقم (2) تبعد 250 متر، رقم (3) تبعد 500 متر، رقم (4) تبعد 650 متر، ورقم (5) تبعد عن المباني 800 متر. الأبعاد الملائمة عن المباني موضحة بالجدول رقم (1).

الوديان والأنهار السطحية:

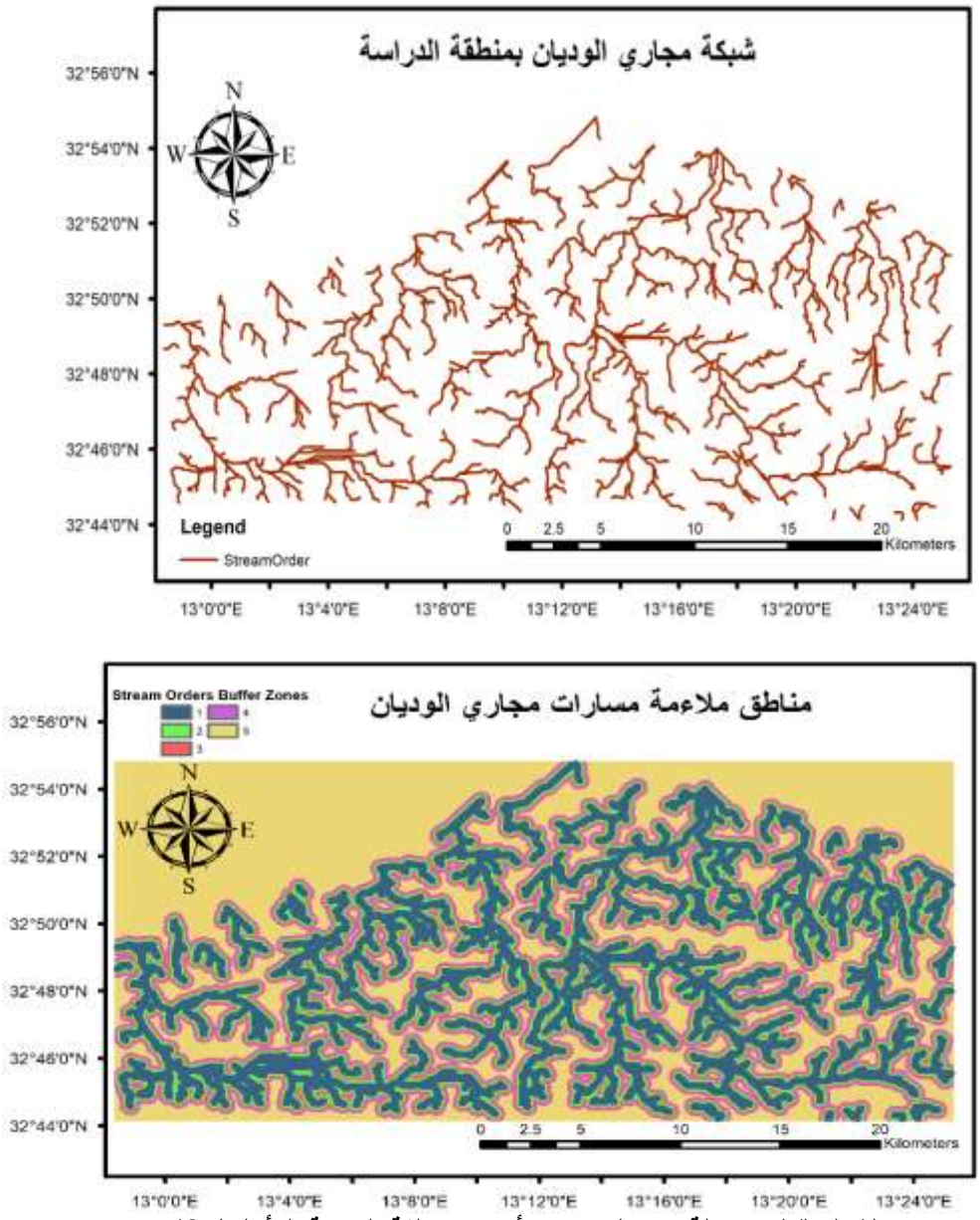
لا توجد تدفقات أنهار رئيسة دائمة بمنطقة الدراسة باستثناء الأودية الموسمية والتي قد تمتلئ بمواسم الأمطار.

استخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة 12.5م لمنطقة الدراسة وأداة التحليل الهيدرولوجي ببرنامج ArcGIS 10.8 لاستخراج انماط وديان الصرف (شكل 5A)، وتم إضافة مناطق ملائمة (Buffer Zones) باستخدام أداة Euclidean Distance قسمت فيه المناطق إلى اربع رتب من 150 متر إلى أكثر من 600 متر (شكل 5.B).

من خلال الدراسات والأبحاث فإنه لا يفرض أماكن المكبات أي مسافة من المياه السطحية، إلا انه يتم الحفاظ على مناطق حماية ومسافات وقائية مختلفة من المسطحات المائية وفقاً لتصور البلديات، خوفاً من تلوث وتسمم هذه المياه التي تسبب في انتشار بعض الأمراض للسكان [12].



الشكل (4) خريطة المباني السكنية (الأعلى)4A، وتحليل المسافة الأمنة لطبقة المباني (الأسفل)4B.



الشكل (5): خريطة رتب الوديان والأنهار بمنطقة الدراسة (الأعلى) 5A وتحليل المسافة الآمنة لكل شعبة (الأسفل) 5B.

شبكة الطرق:

تعد إمكانية الوصول إلى المواقع المناسبة لمكبات النفايات أحد المعايير والعوامل التي يجب تقديرها أثناء عملية تحديد المواقع الملائمة، وذلك لضمان وصول شاحنات وناقلات القمامة بشكل يسير وبدون الحاجة إلى بناء بنية تحتية تكميلية أو تكلفة زائدة.

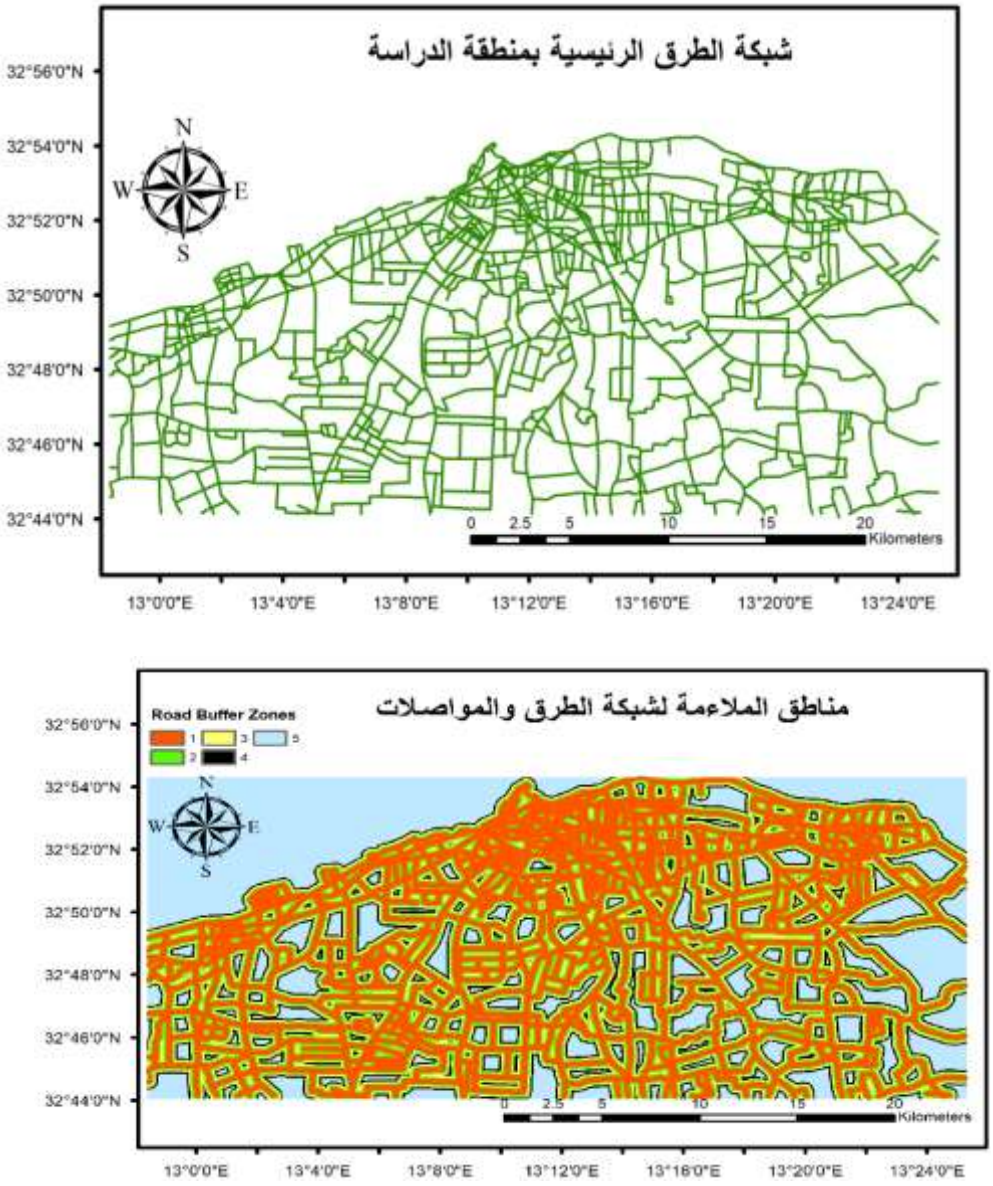
تم استخراج طبقة شبكة الطرق الرئيسة من الخريطة رقم (3) لاستعمالات الأراضي وإجراء عملية تحول بيانات الطبقة من Raster إلى Vector الشكل (6A). وبأستخدام أداة Euclidean Distance.

مناطق الملاءمة صنفت ببعد المسافات عن الطرق على النحو الآتي: منطقة العزل رقم (1) تبعد عن الطرق 100 متر، رقم (2) تبعد 300 متر، رقم (3) تبعد 50 متر، رقم (4) تبعد 600 متر، ورقم (5) تبعد عن الطرق بمسافة أكثر من 800 متر. الأبعاد الملائمة عن الطرق موضحة بالجدول رقم (1).

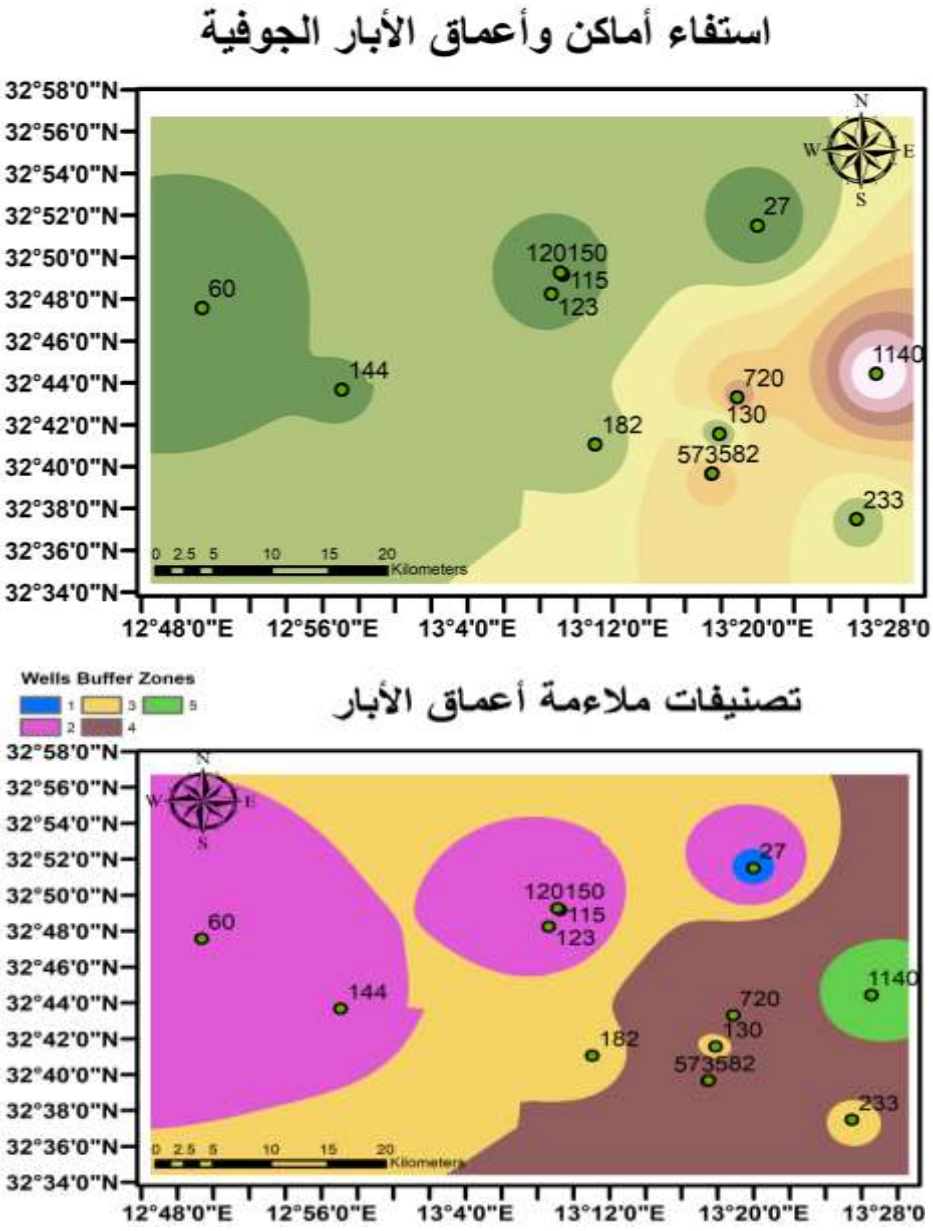
– المياه الجوفية: يحب ان تكون أماكن مكبات النفايات الصلبة بعيدة عن المياه الجوفية حتى لا يتم تلوثها. فقد تتسرب المواد المتحللة من النفايات وتتسرب عبر مسامات التربة إلى المياه الجوفية.

تم استخدام تقنية المسافة العكسية المرجحة (IDW) باستخدام برنامج ArcGIS لإعادة رسم وتصنيف طبقة المياه الجوفية بمنطقة الدراسة (الشكل 7A)، بيانات الآبار تشمل العمق والموقع الجغرافي وفق بيانات هيئة المياه سابقاً.

صنفت أعماق المياه المستخدمة في الدراسة إلى خمسة، تبدأ بعمق 50متر إلى ما فوق 1,000 متر كما موضحة بالشكل (7B). المناطق التي بها مياه جوفية بعيدة عن السطح هي الأكثر ملاءمة لإنشاء مكبات النفايات.



الشكل (6): خريط لطبقة شبكة الطرق بمنطقة الدراسة (الأعلى) 6A
وتحليل المسافة الآمنة لها (الأسفل) 6B.



الشكل (7): خريطة طبقة لأعماق المياه الجوفية بمنطقة الدراسة (الأعلى) *7A* ، وتحليل المسافة الآمنة لأعماق المياه (الأسفل)*7B* .

انحدار الاراضي:

استخدم نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة 12.5م وأداة التحليل الهيدرولوجي ببرنامج ArcGIS 10.8 لاستخراج انحدار سطح الأرض بمنطقة الدراسة (شكل 8A).

وتم إعادة تصنيف شدة انحدار منطقة الدراسة إلى خمسة (5) مستويات، واختيار الانحدارات الملائمة التي اقل من 5^{o} إلى غير ملائمة بدرجات انحدار أعلى من 20^{o} (الشكل 8B) يوضح الخريطة المنتجة.

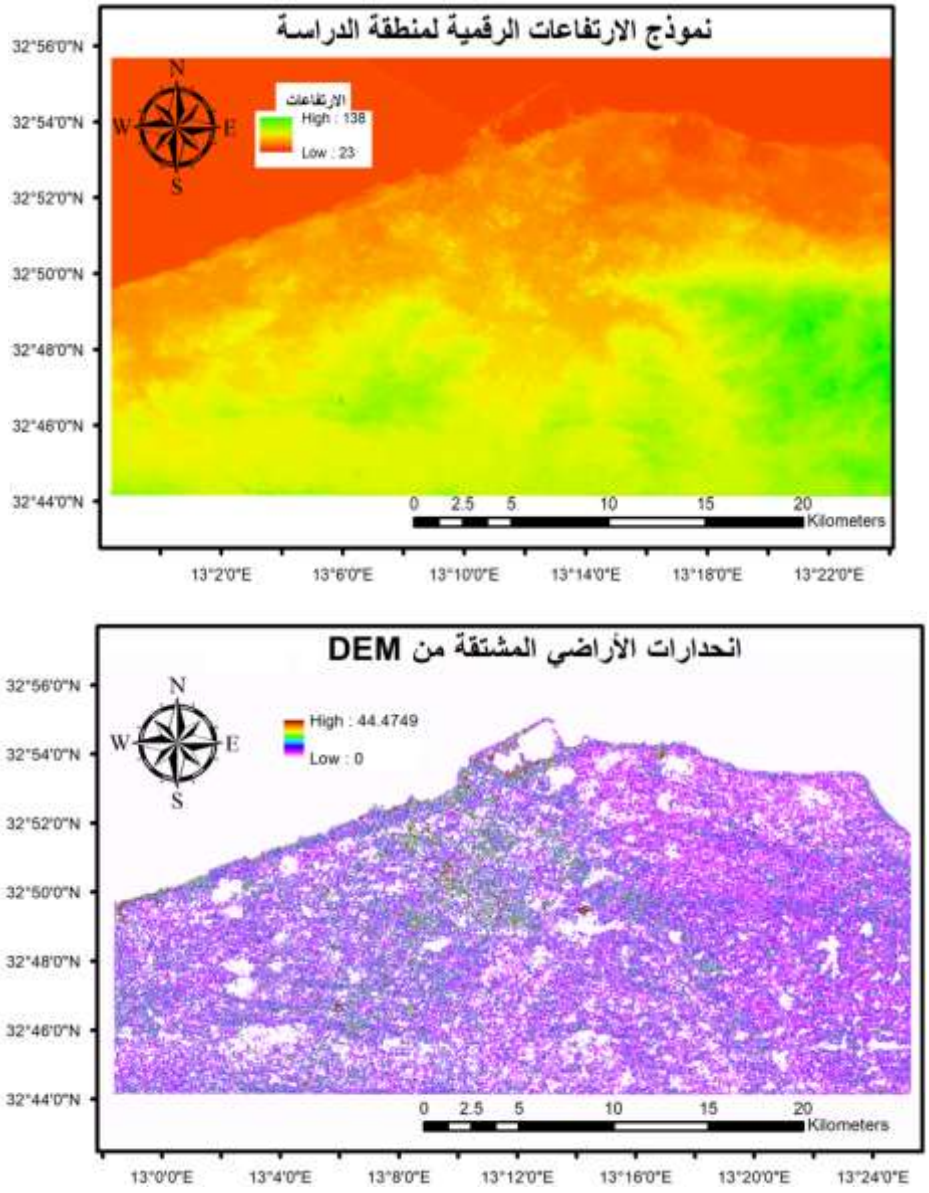
درجة شدة انحدار الأرض في منطقة الدراسة معيار مهم مرتبط بخطر الجريان السطحي للسوائل المرتشحة من النفايات، وكذلك لتخفيض تكلفة البناء والأثر البيئي السلبي، وخطر انهيار المكبات لو كانت شدة الانحدار عالية.

أنواع التربة:

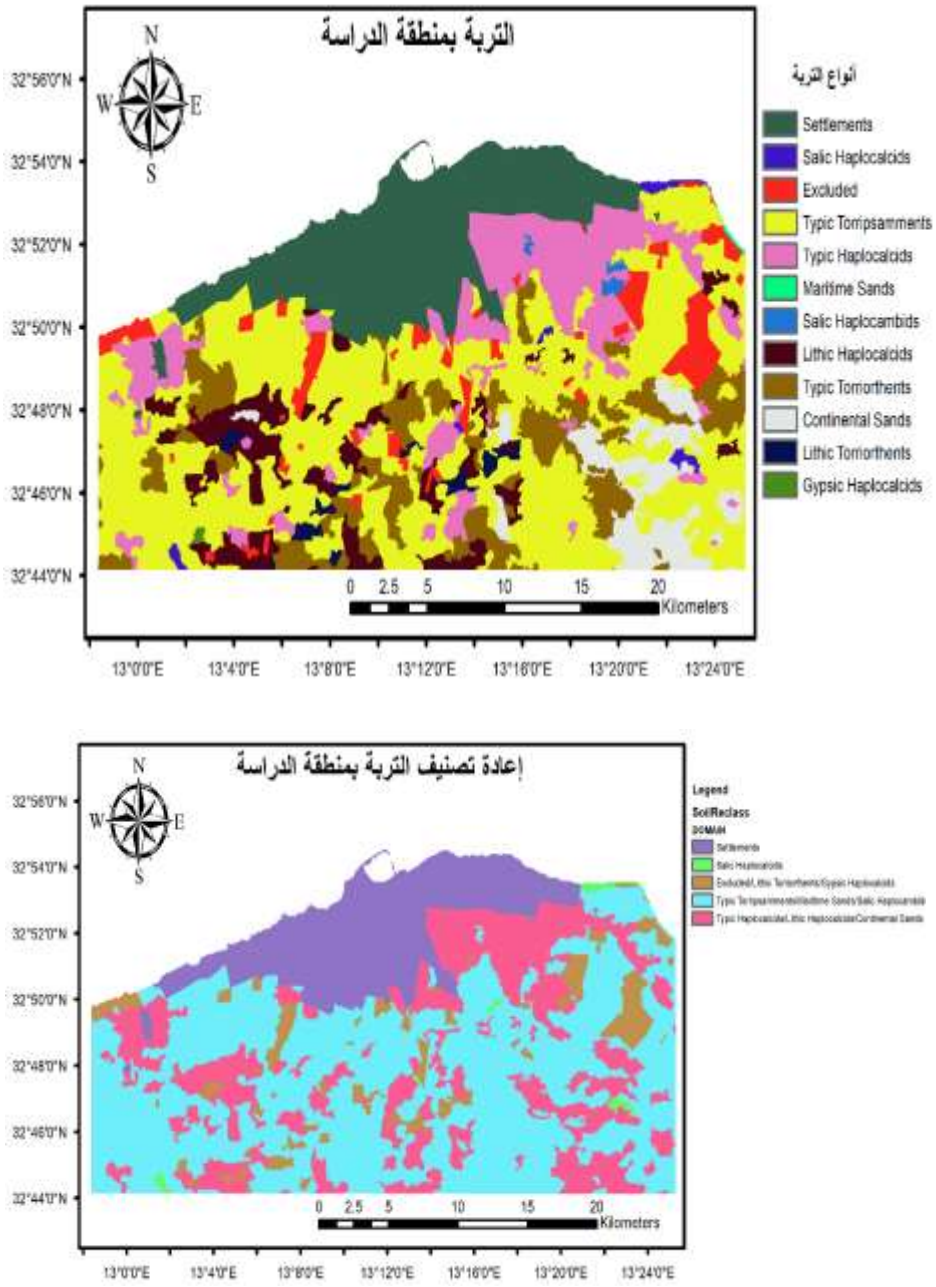
تعمل خصائص التربة على تعزيز اختيار المكان المناسب لمكبات وأكثر أمن وتشغيلها، فتعد خصائص التربة مثل النفاذية والمسامية الفعالة وقابلية التشغيل من العناصر التي أخذت بعين الاعتبار عند اختيار أنسب الأماكن للمكبات.

دراسة خصائص التربة وجيولوجية التضاريس قبل تحديد موقع المكب أمر ضروري، فالمناطق التي تحتوي على نسبة طينية عالية تتميز بقدرتها العالية على الاحتفاظ بالمياه والسوائل، ومن ثم تمنع الترشيح من الملوثات وتسريبها إلى مصادر المياه الجوفية.

تم استخدام خريطة التربة لمنطقة الدراسة وإعادة تصنيف التربة من غير ملائم (ناعمة) إلى مناطق ملائمة عندما تكون أنواع التربة خشنة أو صلبة كما موضحة بالشكل (9) بالأسفل.



الشكل (8): خريطة شدة انحدار التضاريس (الأعلى) *8A*، إعادة تصنيف شدة الانحدار (الأسفل) *8B*.



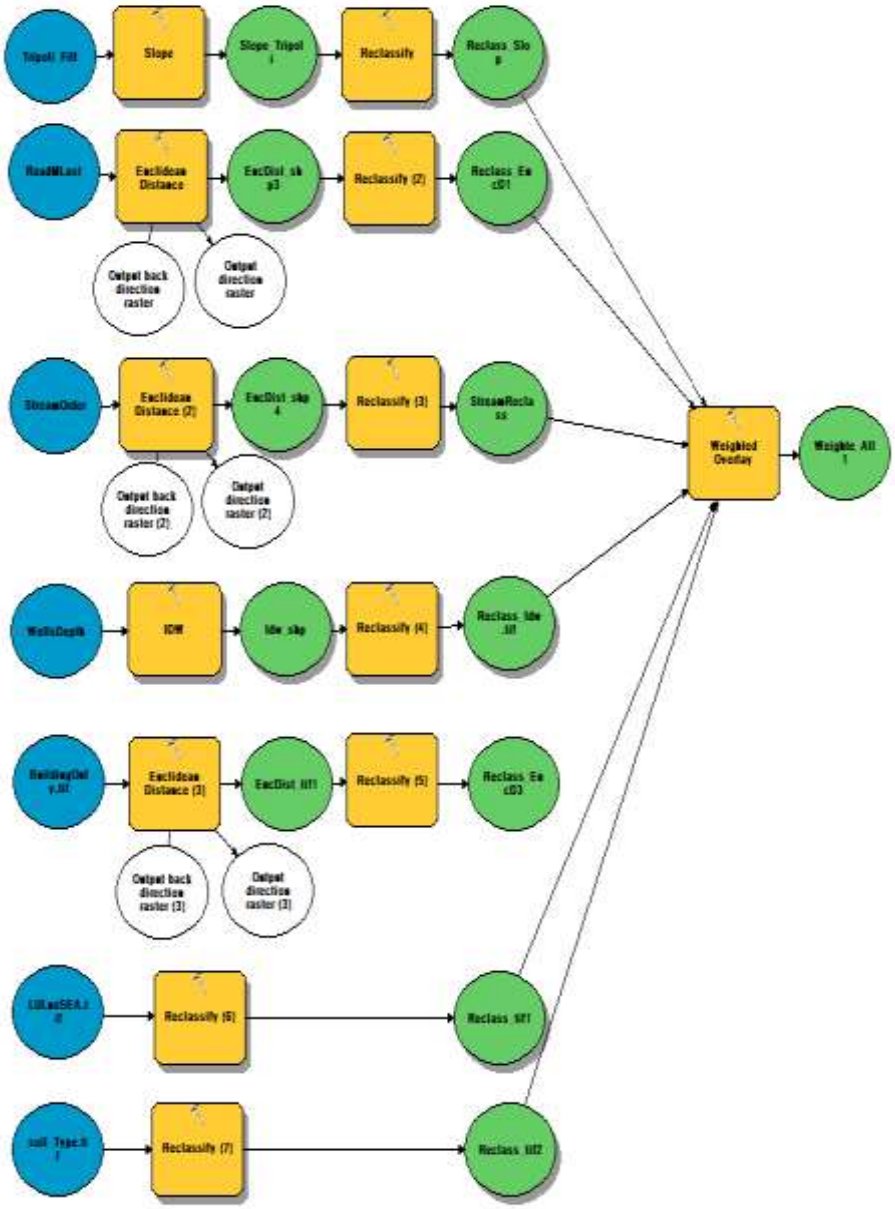
الشكل (9): خريطة أنواع التربة (بالأعلى) وإعادة تصنيفها حسب صلابتها (بالأسفل).

إنتاج خريطة الملاءمة:

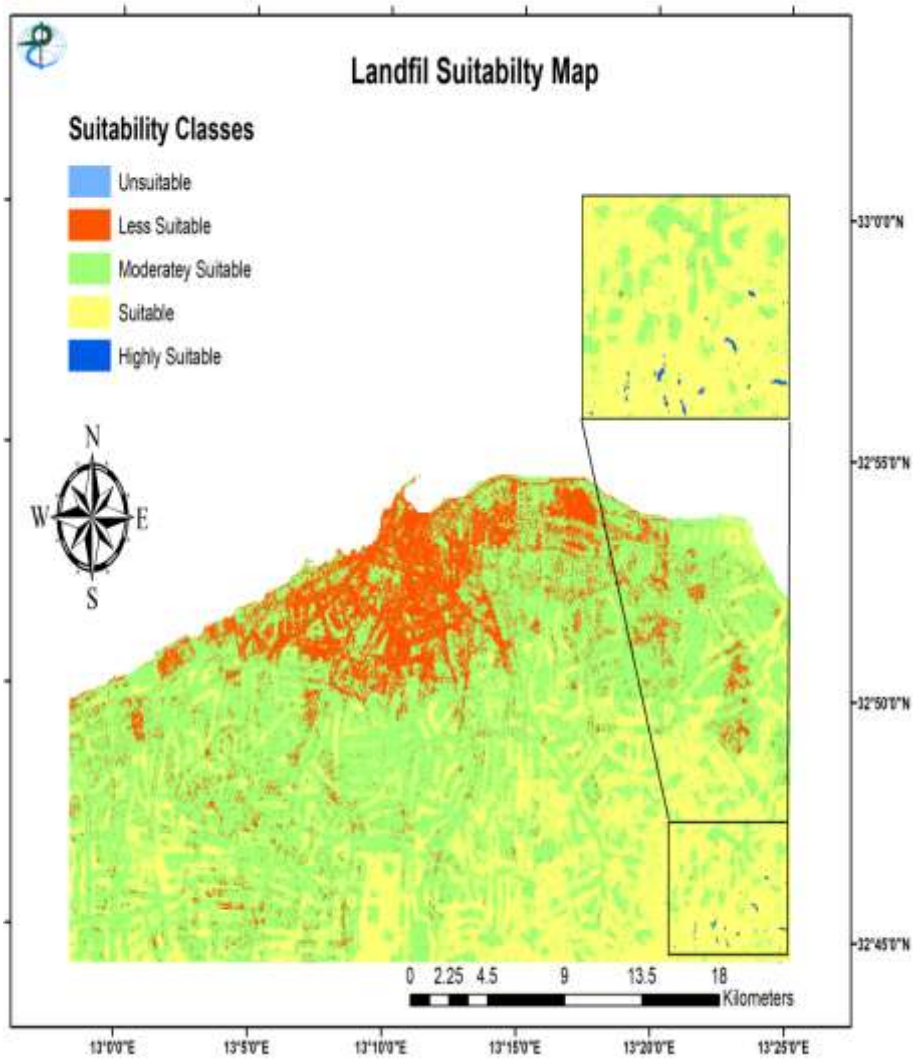
تعد أداة تراكب الوزن Weighted Overlay أحد أدوات التحليل المكاني في برنامج ArcGIS من أنجح الأدوات المستخدمة في حل مشاكل الملاءمة. حيث تعطي لكل معيار مشارك في إعداد خريطة الملاءمة وزنا نسبياً معين حسب أهمية المعيار بالمقارنة مع المعايير الأخرى على أن يكون مجموع الأوزان 100%، ويتم نسبها إلى خرائط المعايير وجمعها معاً، لإنتاج خريطة الملاءمة موضح عليها مقياس تقييم من (1) الذي يمثل أدنى مستوى أو غير مناسب، إلى (5) أعلى مستوى أو مناسب جداً.

ولتقدير دقيق لهذه الأوزان تستخدم في العادة أحد طرق تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) مثل عمليات التسلسل الهرمي التحليلي (AHP)، وهو أسلوب طوره العالم توماس ساتي في سبعينات القرن الماضي، وتحتوي هذه الطريقة على بناء مصفوفات المقارنة الزوجية بين المعايير، واستخلاص الأوزان لكل معيار بمقياس من تسع نقاط من (1) اللامبالاة (غير مهم) إلى (9) الأهمية المطلقة [10].

الشكل (10) يوضح النموذج النهائي الذي تم استخدامه بهذه الدراسة، وخريطة الملاءمة النهائية والمنتجة من هذا المودل موضحة بالشكل (11)، حيث توضح وبناءً على المعايير التي تم استخدامها والأوزان التي تم اختيارها لكل معيار أن أفضل الأماكن لإنشاء مكب نفايات صلبة يقع بالجنوب الشرقي لمنطقة الدراسة، حيث يوجد عدد خمسة أماكن (باللون الأزرق) بمساحات مختلفة يمكن اختيارها. تم وضع أوزان المعايير بشكل تقديري من الباحثين في هذه الدراسة حسب أهمية المعيار بأسلوب الترتيب.



الشكل (10): نموذج (*Model Builder*) للتحليل المكاني لأنسب الأماكن لمكبات النفايات الصلبة.



الشكل (11) خريطة ملاءمة أماكن مكبات النفايات الصلبة لمنطقة الدراسة.

الخاتمة والتوصيات:

- عرض هذا البحث مقدمة حول أهمية تحديد لأماكن الملائمة للنفايات الصلبة، حيث أن تحديدها وإدارتها بصورة صحيحة أصبح من التحديدات داخل البلديات ومع تزايد عدد السكان بمنطقة طرابلس الكبرى يتزايد توليد النفايات الصلبة بشكل كبير، الأمر الذي يمكن أن يكون له دور أساسي في زيادة التلوث البيئي. ويمكن التعبير عن التلوث البيئي الناجم عن عدم كفاية التخلص من النفايات من خلال تلوث المياه السطحية والجوفية من خلال المادة المرتشحة، وتلوث التربة من خلال الاتصال المباشر بالمادة المرتشحة، وتلوث الهواء عن طريق حرق النفايات، وانتشار الأمراض عن طريق إطلاق غاز الميثان عن طريق التحلل اللاهوائي للنفايات.
- خلص البحث إلى استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية في تحديد المناطق الملائمة لإقامة مكبات النفايات الصلبة بمنطقة طرابلس الكبرى. وذلك باستخدام أدوات التحليل المكاني ببرنامج ArcGIS 10.8 مع استخدام عدد سبع الطبقات تمثل العوامل الاجتماعية والاقتصادية، والمائية والجيومرفولوجية.
- أظهرت الدراسة أن موقع المكبات الصغير المؤقتة بكل من مناطق تاجوراء وأبوسليم لا توافق بعض المعايير البيئية التي تم استخدمها بهذه الدراسة.
- أتبثت الدراسة أن تطبيقات الاستشعار عن بعد وبرامج نظم المعلومات الجغرافية أدوات مهمة وفعالة في انتاج خرائط ملاءمة الأرض، وتحديد أفضل المواقع. وتساعد صناع القرار لإختيار مواقع مكبات جديدة صديقة للبيئة.
- استطاعت الدراسة اقتراح أنسب المواقع الصالحة لإقامة مكبات للنفايات الصلبة، حيث تم الحصول على خمسة مواقع ملائمة بمساحات مختلفة وبالقرب من بعضها وذلك وفق العوامل والمتغيرات (المعايير) التي تم استخدامها في الدراسة.
- يمكن تحسين نتائج الدراسة من خلال هذه الدارسة إضافة المعايير أخرى تساهم في تحديد أنسب الأماكن، مثل جيولوجية المنطقة، أعماق مياه الآبار السطحية،

أقل مساحة ملائمة للمكب، وبعض البيانات المناخية مثل الأمطار وشدة واتجاه الرياح.

- حث المسؤولين وصناع القرار على اتباع الأسس والمعايير الملائمة للبيئة في إدارة النفايات وتخطيط مكباتها، واقتراح شروط ومعايير صحية وفق اتفاقية بازل، الوكالة الدولية لحماية البيئة، ومعايير البنك الدولي، وتوعية المواطنين حول حماية البيئة وطرق التخلص من النفايات.
- يُوصي باستخدام أحد طرق تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) مثل عمليات التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) في الدارسات القادمة واستخدام معايير محلية من وزارة الصحة، وزارة البيئة، والبلديات، لإدارة التخلص من النفايات واقتراح أماكن للمكبات الصحية لمنطقة طرابلس الكبرى.

المراجع:

[1] كفاء عبدالله لفلوف، وأنور صباح الكلابي، " التحليل المكاني لمشكلة النفايات الصلبة المنزلية في مدينة السماوة وسبل معالجتها"، مجلة اوروك للعلوم الانسانية، العدد الأول، المجلد (13)، ص ص 103 – 129، 2020م.

[2] عبدالحميد أيوب الفناطسة، عايد محمد طاران، "تحديد أنسب مواقع مكبات النفايات في محافظة معان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية"، *مجلة منشورات علوم جغرافية*، العدد (17)- مجلد (4)،2017، ص 147 – 165.

[3] T. Bassaw, Ëffectiveness of Enironmental Solid Waste Management Policies and Practices for Sustainable Development", *Open Journal of Educational Research,* Vol. 3 (2), PP 93 – 104, 2023.

[4] I. Mahamid and S. Thawaba, "Multi Criteria and Landfaill Site Selection Using GIS: A case Study From Palestine", *The Open Environment Engineering Hou*rnal, Vol. 3, PP 33-41, 2010.

[5] O. Aderoju, G. Dias, A. Goncalves, Ä GIS-based analysis for sanitary landfill sites in Abuja, Nigeria", *Environment, Development and Sustainability,* Vol. 22, PP 551 – 574, 2020.

[6] Muheeb Majid, Bashir A Mir, " Landfill site selection using GIS based multi criteria evaluation technique", *Environment Challenges,* vol.3, 100031, April 2021.

[7] M. AL-anbari and Y. Ensaif, "Landfill Site Selection In Karbala Governorate, IRAQ", *Journal of Engineering and Sustainable Development,* Vol. 22, No. 06, PP 30 – 42, 2018.

[8] A. Ghoutum, K. Edith, A. Lebga, "Landfill Site Suitability Selection Using Geospatial Technology for the Yaounde Metropolitan City and its Environs: Case of Soa

Subdivition, Cameroon", *EuropeanScientific Journal,* Vol. 16, No. 6, PP 95 – 111, 2020.

[9] S. Djokanovic, B Abolmasov, D. Jevremovic, "GIS Application for Landfill Site Selection: a case Study in Pancevo, Serbia", *Bulletin of Engineering Geology and the Envionment,* Vol. 70, PP. 1273 – 1299, 2016.

[10] M. Alanbari, N Al-ansari, H. Jasim, S. Knutsson, "Al-Mseiab Qadda Landfill Site Selection Using GIS and Multicriteria Decision Analysis", *Engineering,* Vol. 6, No. 9, PP. 526 – 549, 2014.

[11] S. Qureshi, S. Shorabeh, N. Samany, F. Minaei, M. Homaee, F. Nickavesh, M Firozjaei, and J. Arsanjani, 'A New Integrated Approach for Municipal Landfill Siting Based on Urban Physical Growth Prediction: A case Study Madhhad Metropolis in Iran", *Remote Sensing,* Vol. 13, No. 5, 949, 2021.

[12] T. Ebistu and A. Minale, "Solid Waste Dumping Site Suitability Analysis Using Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing for Bahir Dar Town, North Western Ethiopia", *African Journal of Environment Science and Technology,* Vol. 7, No. 11, PP. 976 – 989, 2013.

[13] OE Demesouka, AP Vavatsikos, and KP Anagnostopoulos, "GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis: A review of the methodologies performed and criteria implemented", *Waste Management & Research: The Journal for a sustainable Circular Economy,* review article, pp: 1 – 27, 2014.

[14] Environmental Informatics and Reporting Unit, Environmental Protection Agency (2006). Po Box 3000 Johnstown castle Estate county Wexford Ireland, www.epa.ie.

[15] World Bank. (2004). "*Sanitary landfill design and siting criteria".*

[16] A. Chabuk, N. Al-anasri, M. Hussain, S. Knutsson, R. Pusch, "GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suiable sites for landfill in AL-Musayiab Qadhaa, Babylon, Iraq", *Environment Earth Science,* Vol. 76, PP. 209 – 220, 2017.