البحوث والدراسات

تقويم مدفن حفيرة للنفايات الصناعية الخطرة في مملكة البحرين واختيار مواقع مدافن جديدة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ومعايير اتفاقية بازل

أ. سارة عايض البقمي*
د. صباح صالح الجنيد**
أ. د. باسل اليوسفي***
أ. د. وليد خليل زباري****

ملخص:

تمثل إدارة النفايات الصناعية الخطرة والتعامل معها مشكلة تؤرق المجتمعات على المديين القصير والبعيد، لما يمكن أن تسببه من آثار سلبية على الإنسان والبيئة. وقد أسهم التقدم الصناعي وزيادة متطلبات الحياة في السنوات الأخيرة في ازدياد حجم هذه النفايات وتنوعها. وتعتبر المملكة العربية السعودية أحد أطراف اتفاقية بازل بشأن التحكم في نقل النفايات الخطرة والتخلص منها، التي صدقت عليها في أكتوبر ١٩٩٢م، ودخلت حيز التنفيذ في يناير ١٩٩٣م. وفي سعيها للتخلص من نفاياتها بشكل إيجابي من

* ماجستير في علوم البيئة والموارد الطبيعية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك عبدالعزيز، فرع الفيصلية، المملكة العربية السعودية.

** أستاذ مساعد، برنامج علوم الصحراء والأراضي القاحلة، جامعة الخليج العربي، مملكة البحرين.

*** أستاذ في هندسة البيئة، المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة، المكتب الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية لشرق المتوسط، المملكة الأردنية الهاشمية.

**** أستاذ الهيدرولوجيا، برنامج علوم الصحراء والأراضي القاحلة، جامعة الخليج العربي، مملكة البحرين.

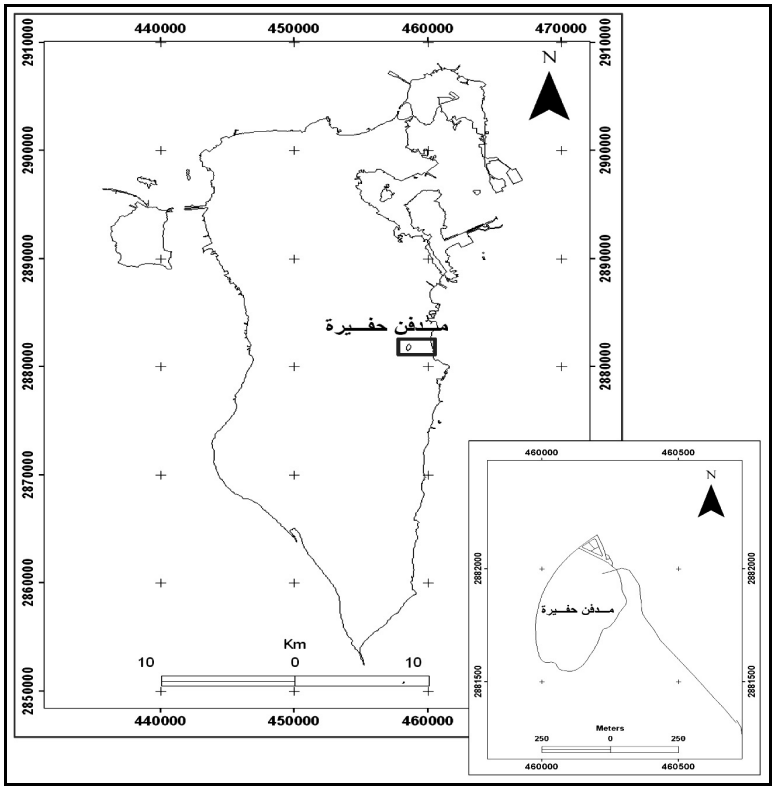
خلال استخدام تقنيات متخصصة وحديثة، قامت الهيئة العامة لحماية الثروة البحرية والبيئة والحياة الفطرية بدراسة وتنفيذ مشروع (مدفن حفيرة)، الذي يبعد نحو ٢٥ كيلو متراً عن العاصمة البحرينية المنامة، كأحد الحلول لمشكلة تكدس النفايات الخطرة والتخلص منها، وفقاً للأنظمة والمعايير المعمول بها دولياً في هذا المجال، وخصصت لذلك أرض بمساحة تزيد على ١٢٥ ألف متر مربع، وبمتوسط عمق مقداره ٦,٥ أمتار (حجم المدفن ٧٤٦,٠٠٠ متر مكعب)، ويبلغ معدل العمر المتوقع للمدفن نحو ١٢ سنة. تهدف هذه الدراسة إلى تقويم موقع مدفن حفيرة للنفايات الصناعية الخطرة، وكذلك إلى اختيار مواقع دفن مستقبلية جديدة للنفايات الخطرة. واشتملت منهجية الدراسة على توظيف مجموعة من معايير اتفاقية بازل واشتراطاتها لاختيار مدافن النفايات الخطرة في المناطق شديدة الجفاف وتصميمها وتشغيلها، واستخدمت تقنية نظم المعلومات الجغرافية، لتحويل هذه المعايير المطلوبة إلى خرائط رسومية، واشتقاق بيانات عدة من البيانات الأساسية باستخدام العمليات والتحاليل المكانية، كإعادة التصنيف، ونشر المساحات، والمطابقة. وتم بناء نموذج بيانات كارتوجرافي يوضح أهم المعايير الاجتماعية، والاقتصادية، والبيئية، والجيولوجية، والجيومورفولوجية، ومعايير القبول الجماهيري لتحديد مواقع مستقبلية تصلح لإقامة مدافن جديدة للنفايات الصناعية الخطرة في مملكة البحرين. اتضح من خلال الدراسة أن موقع حفيرة الحالي يتفق مع ستة معايير من معايير اتفاقية بازل واشتراطاتها (حدود الموقع، ارتفاعات سطح الأرض، التربة، المسافة بين المدفن والطرق الرئيسية، عمق المياه الجوفية، البعد عن السواحل، البعد عن المطارات)، ولا يتوافق مع ثلاثة اشتراطات رئيسية من معايير بازل (الانحدار، والجيولوجيا، والمسافة الفاصلة بين المدفن والمناطق السكنية). وكذلك اتضح أنه توجد عدة مناطق ملائمة تتفق مع اشتراطات اتفاقية بازل ومعاييرها وتم تحديدها لإنشاء مدفن جديد عليها في المنطقة الجنوبية من مملكة البحرين.

المقدمة:

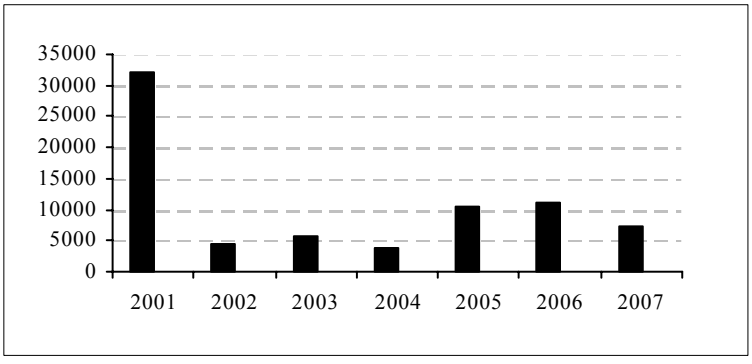
مملكة البحرين دولة جُزرية صغيرة المساحة، تعاني مشكلة محدودية رقعة الأراضي، والتزايد المستمر في أعداد السكان، ويوجد في المملكة موقع واحد لدفن النفايات الصناعية الخطرة، هو موقع "حفيرة". ويقع "مدفن حفيرة

للنفايات الصناعية الخطرة" في منطقة مقالع الحجارة، وعلى بعد ٢٥ كيلومتراً جنوبي العاصمة، المنامة، (الشكل ١). افتتح المدفن في فبراير ٢٠٠١م تحت إدارة وتشغيل قسم التحكم في النفايات بإدارة الرقابة البيئية بالهيئة العامة لحماية الثروة البحرية والبيئة والحياة الفطرية، ويمتد موقع المدفن على مساحة تزيد على ١٢٥ ألف متر مربع، وبمتوسط عمق مقداره ٦,٥ أمتار (حجم المدفن ٧٤٦,٠٠٠ متر مكعب)، ويبلغ معدل العمر المتوقع للمدفن نحو ١٢ سنة. (الإدارة العامة لحماية البيئة، ٢٠٠٣م). واختير هذا الموقع وفقاً لمجموعة من المعايير والاشتراطات، منها: سهولة الوصول إلى الموقع، وقربه من منتجي النفايات، وطبيعة طبقات الأرض، وعمق المياه الجوفية، والتصريف الصحي، ونمط استعمال الأرض، والبنى التحتية، ومدى التأثيرات على الصحة العامة، وغيرها من المعايير المعتمدة عالمياً عند إقامة مدافن النفايات الصناعية الخطرة.

انتهجت مملكة البحرين خلال العشرين سنة الماضية – كما في دول مجلس التعاون الأخرى – سياسة اقتصادية تسعى إلى تنويع مصادر الدخل، ومن أهم آلياتها زيادة التصنيع والاستثمار في القطاع الصناعي. لقد أدى هذا إلى إنشاء العديد من المصانع الجديدة، وإلى توسعة المصانع الكبيرة السابقة كمصنع ألبا، وهو أحد أكبر مصانع الألمونيوم في العالم، فتزايدت كميات النفايات الصناعية الخطرة الناتجة من المصانع خلال الفترة الماضية، ووصلت إلى ٣٨٠ طناً في اليوم، وبمعدل يقارب ١٤٠ ألف طن في السنة. يوضح (الشكل ٢) كمية النفايات الصناعية الخطرة التي وصلت إلى مدفن حفيرة خلال الفترة من ٢٠٠١–٢٠٠٧م. ومن أهم أنواع هذه النفايات الزيوت المتولدة عن عمليات تكرير النفط، وتبلغ كميتها نحو ٢,٠٠٠ طن سنوياً، ونفايات العوامل المساعدة المستهلكة، التي تصل كمية إنتاجها إلى ١,٥٧٠ طناً سنوياً. (أكسيل وآخرون، ٢٠٠٢م).



شكل (١) – موقع منطقة الدراسة "مدفن حفيرة"



شكل (٢) – كمية النفايات الصناعية الخطرة خلال السنوات ٢٠٠١–٢٠٠٧م

لقد أثبتت دراسات عديدة مدى تأثير النفايات الخطرة ومدافن النفايات الخطرة القريبة من التجمعات السكانية على صحة الإنسان والبيئة؛ فالأبخرة السامة المنطلقة من المدافن تضر بالأجنة، وتخفض من نموها (Ralof,1997; Schubeler, 1996). ويتعرض السكان الذين يقطنون بالقرب منها إلى مشكلات صحية كثيرة كالإرهاق، والنعاس، والصداع (اليوسفي وأبوالسعود، ٢٠٠٤م)، وانخفاض وزن المواليد وظهور بعض العيوب الخلقية وأنواع معينة من السرطانات (البنك الدولي، ٢٠٠٤م؛ Vrijheid, 2000). ومن أخطر الآثار الصحية التي تسببها مدافن النفايات الخطرة، مرض السرطان لدى الأطفال، وكذلك سرطان الرحم عند المرأة (White and Albrich, 1999). وبسبب هذه المخاطر على الصحة العامة والبيئة، ركزت اتفاقية بازل على أهمية التعامل مع النفايات الصلبة الخطرة بالطرق المثلى، وتقليل المخاطر التي قد يتعرض لها السكان والبيئة المحيطة بمواقع التخلص منها. وصدقت مملكة البحرين على هذه الاتفاقية في أكتوبر ١٩٩٢م، ودخلت حيز التنفيذ في يناير ١٩٩٣ (أكسيل وآخرون، ٢٠٠٢م).

وتعتبر عملية إدارة النفايات باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية من التقنيات المهمة والمفيدة. ويزداد الاعتماد عليها في عملية الرصد البيئي لإنشاء مدافن المخلفات وتطويرها وفقاً لمعايير ومواصفات محددة، ومن ثم في إدارتها. فهي أداة مساعدة في توصيف وتقويم الأراضي التي تقام عليها المدافن، وذلك اعتماداً على تقديرات زيادة أعداد السكان، والتمدد الحضري، وكميات النفايات. وتساعد متخذي القرار في قياس أبعاد المشكلة المتعلقة بعدم توافر الأراضي المطلوبة لدفن النفايات. وعمليات دفن النفايات مكلفة وغير مقبولة شعبياً لدى السكان الذين يقطنون بالقرب من المدافن، وقد أصبحت قلة الأراضي المناسبة لإنشاء المدفن مشكلة يتكرر طرحها في كثير من الدراسات كأحد المعوقات الطبيعية في حل هذه المشكلات. (Leao et al., 2001; Despotakis and Economopoulos, 2006; Green, 2005; Lunkapis, 2002). إن اختيار مواقع

المدافن مهمة غاية في الصعوبة، ولقد أدى عدم القدرة على تحديد مواقع المدافن بشكل صحيح إلى قدر كبير من الجدل والآثار السلبية، وذلك بسبب زيادة وعي السكان للآثار البيئية، وعدم ثقتهم في الدراسات العلمية لتحديد المواقع المطلوبة، خصوصاً مع زيادة كميات النفايات والتناقص في مساحات الأراضي (Mongeon and Webb, 2002). لذا توظف مجموعة متنوعة من المعايير للتحليل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، كالمعايير الاجتماعية والمكانية، والاقتصادية والسياسية والبيئية المؤثرة على المشكلة (Kao and Lin, 1996). وتستخدم نظم المعلومات الجغرافية لمعالجة ودراسة المشاريع التي تتأثر بمتغيرات متعددة في كثير من الأحيان، وخصوصاً تلك التي تتطلب الاختيار بين مناطق ومواقع مختلفة؛ وذلك لأنها تقنية تتيح تعيين أجزاء من منطقة الدراسة لتحديد الموقع أو المواقع، وكذلك أنسبها التي تفي بجميع المعايير أو معظمها (Mondrego et al., 2000). هذه التقنية تساعد على التنظيم والتحليل المنهجي للبيانات المكانية، ومعالجة الكميات الكبيرة من البيانات الجغرافية المعقدة، وخصوصاً المخزنة على هيئة خرائط موضوعية، وفي تحديد المواقع بسهولة ويسر (Dikshit et al., 2000; Bahaire & Elliott-White 1999). ولاتوظف نظم المعلومات الجغرافية كأداة فقط لتقليل الوقت والتكلفة اللازمين لاختيار المواقع، بل أيضاً لتوفير بنوك بيانات رقمية مخزنة تساعد في برامج رصد هذه المواقع في المستقبل (Tomlison, 1990)، ولتحديد المواقع المناسبة لدفن النفايات.

وتستخدم نظم المعلومات الجغرافية لتعزيز عملية اتخاذ القرار، والوصول إلى القرارات السليمة عند تحديد المواقع المناسبة لإقامة مدافن النفايات الخطرة، ويعتبر اختيار مواقع لدفن النفايات عملية معقدة بسبب كثرة وتشعب المعايير **(Criteria)**، المطلوبة للوصول إلى أفضل الحلول، وهنالك الكثير من الاختيارات التي يجب أن تقوّم اعتماداً على مجموعة من المعايير، وتوظيف منهجية تحاليل المعايير المتعددة (Multicriteria Analysis: MCA). ويوضح الجدول (١)

مجموعة معايير الأدلة الإرشادية لاختيار وتصميم وتشغيل مدافن النفايات الخطرة في المناطق شديدة الجفاف، قام بإعدادها المركز الإقليمي للتدريب ونقل التكنولوجيا للدول العربية والممول من خلال الوديعة الإئتمانية لاتفاقية بازل الدولية (TPWDB, 2005).

ويتوقف النجاح في اختيار الموقع المناسب للدفن الصحي والآمن على العديد من العوامل، أهمها – بحسب اتفاقية بازل – كمية النفايات ونوعيتها، والمقومات الطبيعية للموقع، وإجراءات الحماية الهندسية، وأسلوب التشغيل المتبع. وتعتبر عملية جمع البيانات المطلوبة إحدى أهم الركائز الأولية للبدء بالدراسة والتحليل، ويجب أن تغطي البيانات الجانب الديموغرافي، والبيئي، والمنشآت الصناعية، والظواهر الطبيعية، ويتم التركيز على جمع الخرائط التفصيلية ذات مقياس الرسم الكبير (TPWDB, 2005). وفي مملكة البحرين هناك حاجة ماسة لمراجعة أسس اختيار موقع "مدفن حفيرة" للنفايات الصناعية الخطرة، الذي افتتح في ٢٠٠٢م، في حين أعدت مواصفات عملية اختيار مواقع لدفن النفايات الخطرة في المناطق الجافة في ٢٠٠٥م، وكذلك هناك حاجة لتعيين مواقع دفن جديدة للنفايات الخطرة للسنوات القادمة.

لقد تزايدت كمية النفايات الخطرة الناتجة عن العمليات الصناعية المختلفة؛ نتيجة توسع القطاع الصناعي في مملكة البحرين، ويتم دفن هذه النفايات في مدفن حفيرة للنفايات الخطرة في الجزء الجنوبي من جزيرة البحرين. وبسبب التزايد المستمر في أعداد السكان (النمو السكاني ٢,٦٪ سنوياً)، وصغر مساحة المملكة (٧٤٠كم^{٢})، والتوجهات الاقتصادية والعمرانية، وكذلك التغير المستمر في استخدامات الأراضي والتوسع الأفقي للمدن؛ فقد أصبح موقع المدفن يتوسط منطقة بدأ يزحف عليها العمران، وتغيرت البنية التحتية من حوله؛ مما قد يؤدي إلى بروز مشكلات بيئية وصحية مختلفة خلال الفترة القادمة.

الجدول (١)
المعايير المختلفة لاختيار موقع مدافن النفايات الصناعية الخطرة في المناطق الجافة، وفقاً لمعايير اتفاقية بازل (TPWDB, 2005)

المعايير الاجتماعية والاقتصادية	المعايير البيئية	معايير القبول الجماهيري	معايير جيولوجية جيومورفولوجية
١- المسافة والسعة (الطاقة الاستيعابية) ٢- البنية التحتية ٣- حدود الموقع ٤- المسافة بين المدفن والمطارات ٥- المسافة بين المدافن والطرق السريعة ٦- المسافة الفاصلة عن المتنزهات العامة والمناطق الترفيهية ٧- التنظيم العقاري المحلي واستخدام الأراضي ٨- المسافات الفاصلة عن المدن والبلدات ٩- المناجم المهجورة والآبار والمحاجر القديمة كمواقع لدفن النفايات الخطرة	١- منطقة التشبع المستمر ٢- المياه الجوفية ٣- ميل منسوب المياه الجوفية ٤- اتجاه المياه الجوفية ٥- نوعية المياه الجوفية ٦- حد الاحتواء ٧- تغلغل مياه المطر ٨- النفاذية ٩- المسافة الفاصلة عن البحيرات والبرك ١٠- المسافة الفاصلة عن الأنهار والمجاري المائية ١١- الأراضي الرطبة ١٢- السمات الساحلية ١٣- صرف الموقع ١٤- التنوع الحيوي ١٥- المسافة الفاصلة عن مياه العمليات الصناعية ١٦- السهول الفيضية ١٧- استبعاد الأراضي التي تحتوي على مواقع تاريخية أو محمية ١٨- استبعاد الأراضي التي تحتوي على موائل مهددة بالانقراض	١ - نقل السكان ٢ - وضع المدفن (مرئي/غير مرئي) ٣ - حساسية المناطق ٤ - اتجاه الرياح السائدة ٥ - المسافة بين المناطق المأهولة والمناطق المستغلة	١ - الجيولوجيا تحت السطحية ٢ - مناطق الصدوع ٣ - المناطق غير المستقرة ٤- أراضي التكهفات الجيرية ٥ - المناطق المعرضة للحركة الكتلية ٦ - الترب ٧ - حركة الكثبان الرملية

تهدف هذه الدراسة إلى تقويم الوضع الحالي لموقع مدفن حفيرة (مدفن النفايات الصناعية الخطرة)، ومراجعة وتقويم أسس المعايير التي اتخذت عند بناء المدفن، بما يتوافق مع الاعتبارات المحلية والمعايير الدولية، من خلال استخدام معايير اتفاقية بازل، وتحديد أوجه القصور إن وجدت في مجموعة

البيانات الأولية التي اعتمد عليها عند اختيار الموقع الحالي لدفن النفايات الخطرة، وتقويمها لتجاوز السلبي منها في المرحلة المقبلة، وتأكيد الإيجابي منها. وكذلك اختيار أنسب مواقع لدفن النفايات الخطرة المستقبلية في مملكة البحرين باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية كأداة مساعدة في اتخاذ القرار، لإنشاء نموذج كارتوجرافي معياري باستخدام نظم المعلومات الجغرافية للمساعدة في اختيار مواقع دفن جديدة للنفايات الصلبة الخطرة بالاعتماد على معايير اتفاقية بازل.

منهج الدراسة:

اتبعت خطوات متعددة لتحقيق الأهداف، تمثلت في:

- جمع البيانات والدراسات السابقة عن موقع حفيرة وتحليلها.
- عمل مسح ميداني للمنطقة التي يوجد فيها مدفن حفيرة للمواد الخطرة في مملكة البحرين، وإعداد توصيف متكامل حول المنطقة.
- إعداد الخرائط المعيارية المطلوبة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، واختيار مجموعة من معايير الأدلة الإرشادية لاختيار وتصميم وتشغيل مدافن النفايات الخطرة في المناطق شديدة الجفاف، (معايير اتفاقية بازل)، التي تتناسب وظروف مملكة البحرين، وكذلك توافر البيانات الأساسية كمرجع إسناد لتقويم موقع مدفن حفيرة للنفايات الصناعية الخطرة، بما يتناسب مع ظروف مملكة البحرين، كما يوضحها الجدول (٢).
- إعداد الخرائط المعيارية المطلوبة وبناء النموذج الكارتوجرافي باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، واستخدام معايير اتفاقية بازل كمرجع إسناد لتحديد المواقع المستقبلية المقترحة لدفن النفايات الخطرة.

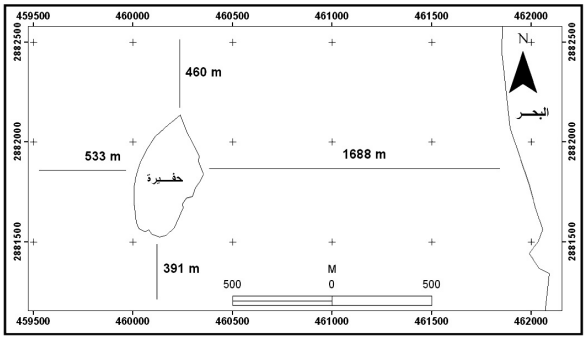
الجدول (٢)
معايير اتفاقية بازل المتوافقة مع ظروف مملكة البحرين

المعايير الاجتماعية والاقتصادية	المعايير البيئية	معايير القبول الجماهيري	المعايير الجيولوجية والجيوموفولوجية
١- حدود الموقع. ٢- البعد عن المناطق السكنية. ٣- البعد عن الطرق الرئيسية. ٤- المسافات الفاصلة عن المدن والقرى. ٥- البعد عن المطارات. ٦- استخدام الأراضي.	١ - نفاذية التربة. ٢ - البعد عن الساحل. ٣ - نوعية المياه الجوفية. ٤ - ميل منسوب المياه الجوفية.	١- وضع المدفن (مرئي/غير مرئي). ٢- المسافة بين المناطق المأهولة والمناطق المستغلة وموقع المدفن.	١ - الانحدار الطبيعي للموقع. ٢ - طبوغرافية السطح ٣ - نوع التربة.

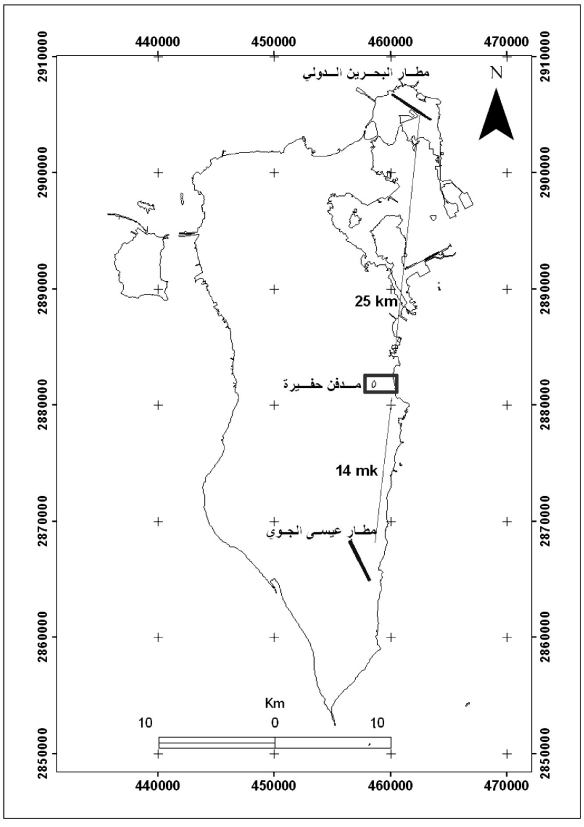
النتائج والمناقشة:

تقويم موقع مدفن حفيرة للنفايات الخطرة:

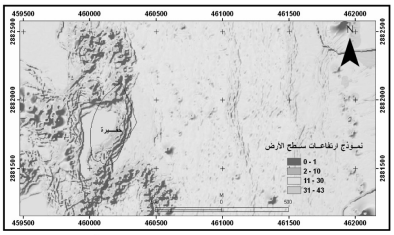
اتضح من خلال الخرائط التي بنيت في النموذج الكارتوجرافي - كما توضحها الأشكال من (٣) إلى (١٢) - أنه من بين مجموع عشرة معايير يراعي موقع مدفن حفيرة سبعة منها، وهي حدود الموقع، ارتفاعات سطح الأرض، التربة، المسافة بين المدفن والطرق الرئيسية، عمق المياه الجوفية، البعد عن السواحل، البعد عن المطارات. أما معايير الانحدار، والجيولوجيا، والمسافة الفاصلة بين المدفن والمناطق السكنية فهي لا تتفق مع معايير بازل. ويعرض الجدول (٣) مصفوفة مقارنة لمعايير بازل، وتوصيف موقع مدفن حفيرة.



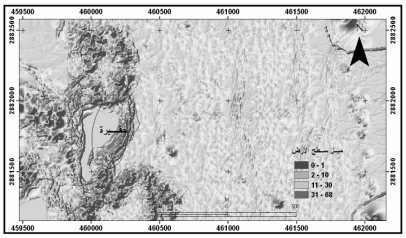
شكل (٣) – حدود الموقع



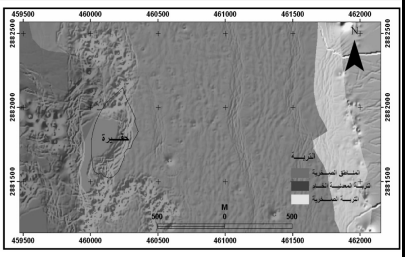
شكل (٤) – المسافة الفاصلة بين المدفن والمطارات



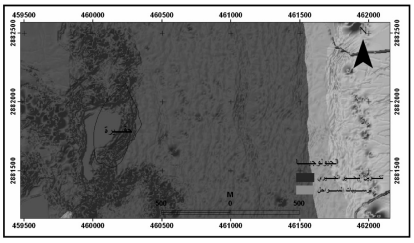
شكل (5) – ارتفاعات سطح الأرض



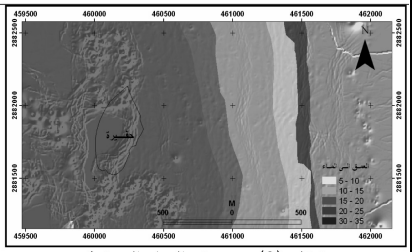
شكل (6) – انحدار سطح الأرض



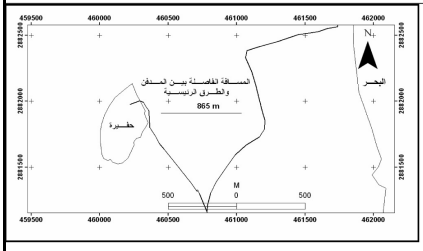
شكل (7) - نوع التربة



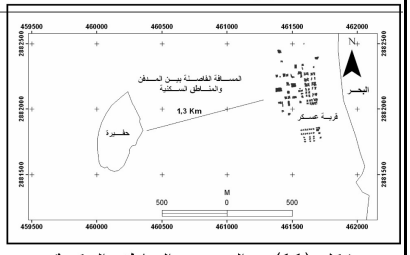
شكل (8) - الجيولوجيا السطحية



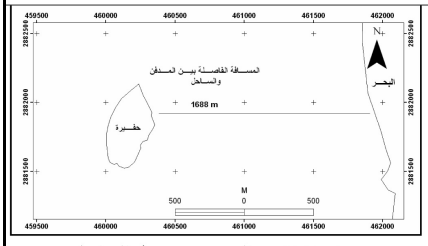
شكل (9) – عمق المياه الجوفية



شكل (10) – المسافة الفاصلة بين المدفن والطرق الرئيس



شكل (11) – البعد عن المناطق السكنية



شكل (12) – البعد عن خط الساحل

الجدول (٣)
مصفوفة معايير تقويم مدفن حفيرة

المعيار	توصيف معايير بازل	مواصفات موقع حفيرة	يتفق / لا يتفق مع معايير بازل
١- **حدود الموقع**	المناطق السكنية – سواء قائمة أو قيد التخطيط – يجب أن تبتعد في حدود ٥٠٠ متر، وأن يحيط بالمدفن منطقة عازلة من الأرض في حدود ٥٠ متراً على الأقل من حدود الموقع.	حدود مدفن حفيرة يبعد عن أقرب منطقة سكنية لها ما يزيد عن كيلومتر واحد، (١,٣كم)	يتفق
٢- **ارتفاعات سطح الأرض**	يجب ألا يزيد ارتفاع منطقة المدفن عن ١٠ أمتار فوق مستوى الأراضي المجاورة. بحيث تصبح غير مرئية من الطرق الرئيسية أو من المواقع المخصصة للتنمية العمرانية (معيار جمالي).	مدفن حفيرة يقع على ارتفاع يراوح بين ٢-١٠م، وهي منطقة منخفضة نسبياً قياساً بالمواقع القريبة منها.	يتفق
٣- **الانحدار**	يفضل أن يكون انحدار الموقع أقل من ٥٪.	مدفن حفيرة يقع على سطح منحدر بين ١١٪-٣٠٪.	لا يتفق
٤- **التربة**	ينبغي ألا توجد مدافن النفايات على تربة سيئة، مع توافر تربة بالقرب منه تصلح لاستخدامها كتربة عزل وغطاء.	تم بناء مدفن حفيرة في التكوينات الصخرية قليلة النفاذية، إلا أنها تحتوي على تجاويف وتصدعات، وبما أن التربة صخرية والأمطار قليلة والنفايات صلبة إذن قد لا يوجد ترشيح قد يؤثر على طبقات التربة والمياه الجوفية.	يتفق
٥- الجيولوجيا	يجب ألا يقام المدفن على تكوينات الصخور المسامية (كالصخور الجيرية)؛ لأن هذه الأنواع من الصخور لا تشكل حاجزاً لهجرة الغاز والرشيح.	يقع مدفن حفيرة ضمن تكوينات صخور البحير الكاربوناتي، ويراوح سمكه بين ١٢ متراً و ١٥ متراً تقريباً.	لا يتفق

تابع/ الجدول (٣)
مصفوفة معايير تقويم مدفن حفيرة

المعيار	توصيف معايير بازل	مواصفات موقع حفيرة	يتفق/لا يتفق مع معايير بازل
٦- مسافة (عمق) المياه الجوفية	يجب عدم إنشاء مدفن النفايات في موقع يقل فيه بعد سطح المدفن عن منسوب المياه الجوفية عن ١٠ أمتار إلا بعد اتخاذ إجراءات مناسبة تبعد احتمال تلوث هذه المياه.	يقع مدفن حفيرة على أراضٍ يصل عمق المياه الجوفية فيها من ٢٥-٣٠ متراً.	يتفق
٧- البعد عن الطرق الرئيسية	توافر مسافة فاصلة لا تقل عن ٥٠٠ متر كحد أدنى عن الطرق الرئيسية.	تبعد الطرق الرئيسية عن مدفن حفيرة نحو ٨٦٥ متراً.	يتفق
٨- البعد عن المواقع السكنية	يفضل ألا تقل المسافة المقبولة عن ٣ كم.	يبعد مدفن حفيرة عن أقرب منطقة سكنية (عسكر) نحو ١,٣ كم.	لا يتفق
٩- البعد عن السواحل	لا بد أن يبعد حد المدفن عن أي شاطئ بحري بمسافة لا تقل عن ١٠٠ متر، كحد أدنى، ويمكن زيادة المسافة تبعاً لحيازة ومقومات استخدامات الأراضي بالقرب من المناطق الساحلية.	يبعد مدفن حفيرة عن خط الساحل نحو ١٧٠٠ متر.	يتفق
١٠- المسافة بين المدفن والمطارات	يستبعد أي موقع يقع داخل دائرة نصف قطرها ٣ كم من نهاية أي مدرج تستخدمه طائرات ذات محركات تربينية من عملية اختيار موقع المدفن. ويستبعد أي موقع يقع داخل دائرة نصف قطرها ١,٥ كم من نهاية أي مدرج تستخدمه طائرات مروحية من عملية اختيار موقع المدفن، وكما يستبعد أي موقع يبعد أقل من ٩,٥ كم عن حدود مطار عام من عملية موقع المدفن.	يبعد مدفن حفيرة عن مطار البحرين الدولي نحو ٢٥كم، وعن مطار عيسى الجوي نحو ١٤كم.	يتفق

بناء نموذج معياري لاختيار مواقع مدافن جديدة:

بني مدفن حفيرة لاستيعاب النفايات الصناعية الخطرة وشبه الخطرة في مملكة البحرين، ضمن الحلول الملائمة لتحقيق الإدارة السليمة بيئياً لمشكلة النفايات الصناعية، إلا أن العمر الافتراضي لمدفن حفيرة لن يتجاوز ١٢ سنة فقط. لذا، يعتبر ضرورياً إيجاد مواقع جديدة لإقامة مدافن ملائمة تستوعب تزايد النفايات الصناعية الخطرة مستقبلاً. ولتحقيق ذلك تم بناء نموذج كارتوجرافي لإيجاد مواقع دفن جديدة تتوافق مع معايير اتفاقية بازل، ووظفت عشرة معايير توضحها الأشكال من (١٣) إلى (٢٢)، بنيت على هيئة خرائط في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

ولاختيار مناطق جديدة تصلح لإقامة مدفن للنفايات الخطرة، أعدت الخرائط الكارتوجرافية بما يتناسب مع معايير اتفاقية بازل، وأجريت مجموعة من الخطوات التحليلية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية بما يتناسب مع المعايير المطلوبة، من خلال عمليات نشر المساحات **(Buffering)**، وعمليات القطع **(Clipping)** وإضافة حدود منطقة الدراسة للخرائط الناتجة، من خلال عمليات الدمج **(Union)**، وتعديل وإضافة وتحسين الخرائط المطلوبة **(Editing)**، وتحويل جميع المعايير التي رسمت على هيئة خرائط من نموذج المتجهات **(Vector)** إلى النموذج الشبكي **(Raster)** واعتماد دقة الخلية **(Resolution)** بمقدار ٥×٥ أمتار حتى تتطابق مع بيانات نموذج الارتفاعات الرقمي المبني لمنطقة الدراسة.

بني النموذج الكارتوجرافي من مجموعة الخرائط الرقمية التي تم تصنيفها إلى صفر، وواحد. أعطيت المناطق المناسبة لإنشاء المدفن قيماً تساوي الواحد (١)، بينما المناطق التي لا تتفق ولا تتناسب مع معايير بازل أعطيت قيم تساوي الصفر (٠)، وذلك عبر عملية إعادة التصنيف **(Reclassification)**. وتعرض الأشكال من (٢٣) إلى (٣٢) هذه الخرائط المصنفة. ولاستكمال عملية الاختيار أضيف معيار آخر وهو المساحة المطلوبة التي تصلح لإقامة المدفن الجديد،

شكل (13) – نوع التربة

شكل (14) – البعد عن السواحل

شكل (15) – البعد عن المطارات

شكل (16) – البعد عن الطرق الرئيسية

شكل (17) – البعد عن المناطق السكنية

شكل (18) – الجيولوجيا السطحية

شكل (19) – عمق المياه الجوفية

شكل (20) – استخدامات الأراضي

شكل (21) – إرتفاعات سطح الأرض

شكل (22) – انحدار سطح الأرض

شكل (23) – ارتفاعات سطح الأرض

شكل (24) – ميل سطح الأرض

شكل (25) – التربة السطحية

شكل (26) – الجيولوجيا السطحية

شكل (27) – البعد عن المناطق السكنية

شكل (28) – البعد عن الطرق الرئيسية

شكل (29) – البعد عن المناطق الساحلية

شكل (30) – البعد عن المطارات

شكل (31) – العمق إلى الماء

شكل (32) – المواقع المقترحة للمدافن

بحيث لا تقل عن كيلومتر مربع. ثم استخرجت الخريطة النهائية عبر عملية التطابق **(Overlay)**، التي تستثنى خلالها جميع المناطق التي لا تتفق مع المعايير المذكورة. ويعرض الجدول (٤) مصفوفة معايير بازل المختلفة المستخدمة لاختيار مواقع مدافن جديدة للنفايات الصناعية الخطرة في المناطق الجافة، بما يتناسب مع ظروف مملكة البحرين، وكذلك توفر البيانات المختلفة عن منطقة الدراسة. وبلغ عدد المواقع التي تتفق مع المعايير المختلفة في الخريطة النهائية أربعة عشر (١٤) موقعاً، تراوح مسافة كل منها بين ٠,٠١٣ – ١,٠٣٧١ كم٢. وباستخدام معيار المساحة المطلوبة للمدفن الجديد، التي حددت بكيلومتر مربع، فإنه يتضح من خلال النتائج النهائية، وجود منطقة واحدة تبلغ مساحتها 1.04 كيلومتر مربع فقط، و يوضح الشكل (٣٣) أفضل المواقع المقترحة لإنشاء مدفن للنفايات الصناعية الخطرة.

الجدول (٤)

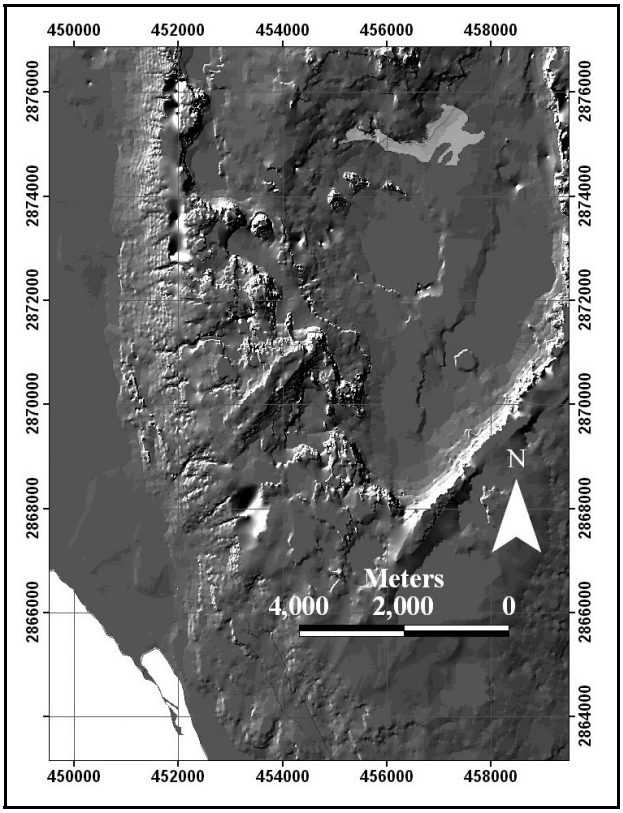
مصفوفة معايير بازل المختلفة لاختيار مواقع مدافن جديدة للنفايات الصناعية الخطرة في المناطق الجافة

المعايير	توصيف معايير واشتراطات اتفاقية بازل	ملاحظات حول مواصفات منطقة الدراسة	يتناسب	لا يتناسب
١- ارتفاعات سطح الأرض	ألا يزيد ارتفاع سطح الأرض عن ١٠ م فوق مستوى الأرض المجاورة: يجب أن يكون موقع المدفن منخفضاً عن مستوى الأراضي المجاورة وغير مشاهد من الطرق الرئيسية أو من موقع مخصص للتنمية العمرانية.	تم مضاعفة المعيار بسبب أعمال التفجيرات المستمرة في المنطقة.	= < ٢٠م	> ٢٠م
٢- الانحدار	ألا تزيد نسبة انحدار السطح عن ٥٪ إذا كان الانحدار حاداً جداً فسيؤثر يصعب بناء المدفن وإبقاؤه، وإذا كان المنحدر مستوياً جداً فسيؤثر على عملية التصريف.	يتباين الانحدار في منطقة الدراسة، ولكن يغلب عليها الاعتدال في الانحدار	= < ٥٪	> ٥٪
٣- التربة	تربة قليلة النفاذية: يفضل الموقع المميز بالتربة الطفلية أو بتوافر التربة الطفلية بالقرب منه لاستخدامها كتربة عزل وغطاء.	غالبية ترب منطقة الدراسة عبارة عن ترب صخرية جيرية، قليلة النفاذية.	الترب الصخرية قليلة النفاذية	أخرى
٤- الجيولوجيا السطحية	موقع دفن النفايات يجب أن يقع على صخور طينية ويكون سميكاً نسبياً وغير نفاذ.	تكوينات كاربوناتية		
٥- عمق المياه الجوفية	يجب عدم إنشاء مدفن النفايات في موقع يقل فيه بُعد سطح المدفن عن منسوب المياه الجوفية عن ١٠ أمتار إلا بعد اتخاذ إجراءات مناسبة تبعد احتمال تلوث هذه المياه.	تحيط بالمدفن منكشفات صخرية تصلح لإنشاء المدفن.	=< ١٠	> ١٠

تابع/ الجدول (٤)

مصفوفة معايير بازل المختلفة لاختيار مواقع مدافن جديدة للنفايات الصناعية الخطرة في المناطق الجافة

المعايير	توصيف معايير واشتراطات اتفاقية بازل	ملاحظات حول مواصفات منطقة الدراسة	يتناسب	لا يتناسب
٦- الطرق الرئيسية	توافر مسافة فاصلة لا تقل عن ٥٠٠ متر.	الطرق المؤدية إلى الموقع صالحة طوال كافة فصول السنة للمرور وتتميز بأبعاد مناسبة تتحمل الكثافة المرورية وتتيح انسيابيتها.	=< ٥٠٠م	> ٥٠٠م
٧- المناطق السكنية	المسافة المقبولة لا تقل عن ٣ كم.	تبعد المناطق السكنية بما يزيد على ٣ كيلومترات عن المدفن	=>٣ كم	> ٣ كم
٨- البعد عن خط الساحل	أن يبعد المدفن نحو ١٠٠ متر عن خط الساحل.	تم تغيير البعد إلى ٥٠٠م	=< ١٠	> ١٠
٩- البعد عن المطارات	أن يبعد المدفن نحو ٩,٥ كم عن حدود المطارات.	يبعد المدفن ما يزيد على ١٠ كلم عن المطارات	=< ٥٠٠٠م	> ٥٠٠٠م
١٠- استخدامات الأراضي	من خلال اتفاقية بازل لابد من تجنب المناطق الحضرية، والمناطق العامة المستغلة كمتنزهات أو كمساحات خضراء لتحسين المنظر العام، والمناطق الصناعية والزراعية ذات الإنتاجية العالية، والمناطق المخطط لاستغلالها كمناطق سكنية.	يقع المدفن في الجزء الجنوبي من جزيرة البحرين، التي تتركز فيها المناطق الصناعية.	أراضي فضاء	أخرى



شكل (٣٣) – أفضل المواقع المقترحة لإنشاء مدفن للنفايات الصناعية الخطرة

الخلاصة والتوصيات:

أظهرت نتائج هذه الدراسة أن موقع مدفن حفيرة موقع مناسب لدفن النفايات الخطرة في مملكة البحرين خلال الفترة الماضية، وقد روعيت معظم معايير اتفاقية بازل واشتراطاتها؛ حيث بلغت سبعة معايير رئيسية، وهي حدود الموقع، ارتفاعات سطح الأرض، التربة، المسافة بين المدفن والطرق الرئيسية، عمق المياه الجوفية، البعد عن السواحل، البعد عن المطارات. ولكن بزيادة المنشآت الصناعية في مملكة البحرين التي تفرز نشاطاتها اليومية أطناناً من النفايات الخطرة وشبه الخطرة، وعلى ضوء الأهمية القصوى لحماية الصحة

العامة والبيئة من الأضرار الجسيمة التي تسببها النفايات الصناعية، وبسبب نقص الأراضي وتمدد المشروعات العمرانية والتجارية، والمناطق السكنية في كل الاتجاهات وبالقرب من موقع المدفن الحالي، فإنه يوصى بالتوجه نحو الإنتاج الأنظف لتقليل النفايات الخطرة أو إزالتها، وتجنب تولدها من المصدر، والتركيز على تخفيض النفايات واستغلال المصادر خلال عمليات الإنتاج، والتصميم. وكذلك يوصى بإعادة الاستخدام والتدوير للتقليل من النفايات والاستفادة من النفايات الخطرة الصناعية وإعادة استعمالها. كما يوصى بالنظر إلى إمكانية الاتفاق مع الدول المجاورة ذات القدرات الاستيعابية والإمكانيات الأكبر لتصدير هذه النفايات، بالإضافة إلى تحديد مدى العبء البيئي لكل منطقة صناعية، وتحديد الكميات المنتجة لكل منها للسنوات القادمة؛ حتى تتمكن الجهات الإدارية المختصة في المملكة من إعداد خططها لمتابعة إدارة النفايات الخطرة. وأخيراً يوصى بتحفيز مراكز البحوث والدراسات البيئية للقيام بمشروعات ودراسات بحثية لتطوير أسلوب إدارة النفايات الصناعية الخطرة بشكل متكامل وإيجاد البدائل الملائمة والعملية للتخلص منها أو معالجتها باستخدام الطرق العلمية الحديثة.

المراجع

أولاً – المراجع العربية:

- الإدارة العامة لحماية البيئة والحياة الفطرية في مملكة البحرين، (٢٠٠٣م). تقرير حول موقع حفيرة (غير منشور).
- البنك الدولي، (٢٠٠٤م). برنامج المساعدة الفنية للبيئة بالمتوسط، المشروع الإقليمي لإدارة النفايات الصلبة – الدلائل الإقليمية، التقرير النهائي، الجزء ٦، حالات دراسية معدة من قبل التجمع الدولي - GTZ ERM - GKW، ١٢٧ صفحة.
- أكسيل، جميل وآخرون، (٢٠٠٢م). تقرير موجز حول الوضع البيئي في مملكة البحرين، الهيئة العامة لحماية الثروة البحرية والبيئة والحياة الفطرية، مملكة البحرين.
- اليوسفي، باسل أحمد، ونفيسة، أبو السعود، (٢٠٠٤م). مقال مرجعي عن النفايات والمخلفات الخطرة، ٢٨ صفحة.

ثانياً – المراجع الأجنبية:

- Bahaire, T. & Elliott-White, M. (1999). ‘‘The Application of Geographical
- Information Systems (GIS) in Sustainable Tourism Planning: A Review. Journal
- of Sustainable Tourism, Vol. 7 (2): 159-179
- Despotakis, V.K., and Economopoulos, A.P., (2006). A GIS Model for Landfill Sitting, Global NEST Journal, Printed in Greece, 1-6 pp.
- Dikshit, A.K., Padmavathi, T. & Das, R.K. (2000). Locating Potential Landfill Sites
- Using Geographic Information Systems. Journal of Environmental Systems. 28(1): 43-54.

- Green, D.C.,(2005). GIS and its use in waste management. Training program on waste disposal by landfilling in hyper arid Manama- Bahrain, 2005.
- Kao, J. & Lin, H. (1996). Multi-factor spatial analysis for landfill siting. Journal of
- Environmental Engineering, 122(10): 902-908.
- Leao, S., Bishop, I., Evans, D., (2001). Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modeling in a GIS environment. Resources, Conservation and Recycling. Pp 290.
- Lunkapis, G. J, (2004). GIS as Decision Support Tool for Landfills Sitting, Map Asia Conference, Beijing, China, pp,11.
- Mondrego, F., Domenech, V., Llorens, V., Torner, J. M., Martinez, S., Abellan, M. & Manuel J. R. ***(2000).*** Locating a large theme park addressed to the tourist market: The case study of Benidorm. Planning Practice and Research, 15(4): 385-395.
- Mongeon, J. & Webb, M. (2002). Applied GIS Course Students Project:, Locating a Municipal Waste Landfill Site in Cottonwood, Minnesota. Retrieved in May 2008. http://www.uoguelph.ca/geography/filetran/geog4480/ > .
- Raloff, J., (1997). Toxic landfill may cause babies to be tiny. ProQuest Education Journals, ProQuest Psychology Journals, Vol.152 No. 11 p. 166.
- Schubeler, P. (1996). Conceptual Framework for Municipal Solid Waste Management
- in Low-Income Countries. Swiss Center for Development Cooperation in
- Technology and Management, Working Paper No. 9. St. Gallen, Switzerland: SKAT
- Tomlison, R. F. (1990). Current and Potential Uses of Geographic Information Systems: The North American Experience. D. Peuquet and D. Marble (eds.), Introductory Readings in Geographic Information Systems, New York, Taylor and Francis.
- TPWDB, (2005): Training program on waste disposal by landfilling in hyper arid Manama- Bahrain, 2005. Waste Disposal by Land-

filling in Hyper-arid Region, Held in Manama-Bahrain, 26-28/11/2005. Co-organizer: Bahrain Public Commission for the Protection of Marine Resources, Environment and Wildlife.

- Vrijheid, M., (2000). Health Effects of Residence Near Hazardous Waste Landfill Sites: A Review of Epidemiologic Literature. Environmental Health Perspectives Supplements Volume 108: 101-112.
- White, E., Albrich, T. E., (1999). Geographic Studies of Pediatric Cancer near Hazardous Waste Sites. Archives of Environmental Health.