

## تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الادارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير

جمعة محمد داود<sup>١</sup>، خالد بن عبد الرحمن الغامدي<sup>٢</sup>، مسعد سلامة مندور<sup>٣</sup>

<sup>١</sup> معهد بحوث المساحة، المركز القومي لبحوث المياه، القاهرة، جمهورية مصر العربية

[dawod\\_gomaa@yahoo.com](mailto:dawod_gomaa@yahoo.com)

<sup>٢</sup> قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية

[kaghamdi@uqu.edu.sa](mailto:kaghamdi@uqu.edu.sa)

<sup>٣</sup> قسم الجغرافيا، كلية الاداب، جامعة المنصورة، المنصورة، جمهورية مصر العربية

[mosaad\\_3\\_70@hotmail.com](mailto:mosaad_3_70@hotmail.com)

### الملخص:

تعد الطاقة الشمسية أحد أهم مكونات الطاقة المتجددة التي تشكل مصدرا هاما من مصادر الطاقة النظيفة في العديد من المجالات خاصة تحلية المياه و توليد الكهرباء. ومع زيادة استهلاك الكهرباء في المملكة العربية السعودية بمعدل سنوي ٥% فقد تم اطلاق المبادرة الوطنية لإنتاج المياه و الكهرباء والتي تسعى للحصول علي ما يقارب ٤١ جيجا واط من الكهرباء بحلول عام ١٤٥٣ هـ. تهدف الدراسة الحالية الي تطبيق أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير لتحديد أنسب المواقع المكانية لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الادارية، اعتمادا على مجموعة من الشروط و المعايير المطلوبة سواء الجغرافية أو الفنية أو البيئية أو الاقتصادية للحصول علي نموذج ملائمة رقمي يوضح أفضل مواقع انشاء محطات الطاقة الشمسية. قامت الدراسة بتحديد المعايير المطلوبة طبقا للمواصفات العالمية و انشاء قاعدة بيانات جغرافية رقمية لهذه الاشتراطات ومن ثم دمج هذه الاشتراطات في نظام معلومات جغرافي متكامل بهدف الحصول علي نموذج الملائمة المكانية المطلوب. وتشير نتائج الدراسة الي أن كل منطقة مكة المكرمة مناسبة لمشروعات تجميع الطاقة الشمسية بنسب ملائمة تتراوح بين ٤٧% و ٩٧% وبمتوسط يبلغ ٨٠%، وتبلغ مساحة الأراضي التي تتميز بنسبة ملائمة أكبر من ٩٠% حوالي ٧ آلاف كيلومتر مربع بنسبة ٥% من اجمالي الأراضي المناسبة. و تتركز هذه الأراضي عالية الملائمة في محافظة مكة المكرمة بنسبة ٢٢% تليها محافظتي رابغ و خليص بنسبة ١٩% لكلا منهما ثم محافظة جدة بنسبة ١٣%. وتم عمل خريطة رقمية توضح التوزيع المكاني للأراضي الملائمة لمشروعات حصاد الطاقة الشمسية بمنطقة مكة المكرمة الادارية. وتوصي الدراسة بوضع النتائج التي تم الحصول عليها أمام متخذي القرار لتطبيقها في الخطة الوطنية لمصادر الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية.

**كلمات مفتاحية:** نظم المعلومات الجغرافية، أسلوب المعايير المتعددة، الطاقة الشمسية، منطقة مكة المكرمة الادارية.

### Abstract:

Kingdom of Saudi Arabia (KSA) depends mainly on fossil fuels in electricity generation, desalination, and heating. With the growing electricity consumption, KSA has initiated an ambitious plan to increase the share of renewable energy sources, e.g. solar and wind, to reach 41 Giga Watt by year 2032. This study focuses on utilizing the Multi-Criteria Analysis (MCA) within a Geographic Information Systems (GIS) environment to locate optimum sites for solar energy projects within Makkah administrative area. Several physical and environmental spatial databases have been built up and an integrated GIS system has been developed. It has been found that the entire region is almost suitable for solar energy harvesting with varying suitability index. The suitability value range from 4.7 to 9.7, with an average equals 8.0 on a scale of 10. Moreover, areas of suitability index more than 90% have been identified, and found to have a total area of 7,000 square kilometers, which is a significant indicator about the potential of solar energy harvesting in Makkah. It is recommended that the developed suitability model being considered by decision makers in the future plans of energy development.

## مقدمة:

تعد الكهرباء أحد أهم أسباب التطور و النمو السريع في جميع مجالات الحياة علي المستوى العالمي و في المملكة العربية السعودية في العقدين الأخيرين. ففي الفترة ما بين عام ١٩٩٠ م و ٢٠٠٩ م زادت قدرة التوليد الفعلية للكهرباء في المملكة من ١٥٢١٢ ميغا واط الى ٥١٣٠٢ ميغا واط بمعدل زيادة متوسطة تتعدي ٧% سنويا، كما زاد نصيب المشترك الواحد من ٢٣٩٢٨ كيلو واط/ساعة الي ٣٣٩٣٦ كيلو واط/ساعة في نفس الفترة الزمنية (وزارة المياه و الكهرباء ١٤٣١ هـ).

ان الطاقة الشمسية هي أحد مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن استغلالها في أي مكان و تشكل مصدرا مجانيا لا ينضب لكافة الاحتياجات. ومن مميزات هذا النوع من الطاقة المتجددة أنه طاقة نظيفة لا ينتج عنها أية ملوثات للبيئة أو أية أضرار علي صحة البشر، كما أنها طاقة مجانية و متجددة ومن مصدر لا ينضب علي الاطلاق بخلاف أنواع الطاقة التقليدية المحدودة. ويمكن استخدام الطاقة الشمسية في العديد من المجالات التي تشمل تسخين و تحلية المياه والتدفئة و الانارة و معالجة مياه الصرف الصحي بالإضافة الي توليد الكهرباء. وفي العقدين الأخيرين زاد الاهتمام علي المستوي العالمي بتقنيات و أساليب و طرق تجميع الطاقة الشمسية و تحويلها الي كهرباء. وبلغ معدل النمو السنوي لإنتاج الطاقة الشمسية ٢٣% خلال الفترة من عام ١٩٨٠ حتى عام ٢٠٠١، بينما شهد انتاج الطاقة الشمسية نموا بقيمة ١٥% خلال عام ٢٠٠٧ فقط (غرفة الشرقية ٢٠١٠). وتجدر الإشارة الي أن التوسع في انتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية قد ساهم في خفض أسعارها بنسبة ٤% سنويا في الخمسة عشرة الأخيرة (غرفة الشرقية ٢٠١٠). وتتمتع المنطقة العربية و الشرق الأوسط بصفة عامة بمعدلات عالية من الاشعاع الشمسي الذي يمكن تحويله الي طاقة شمسية، ومن ثم فقد اتجهت دول هذا المنطقة في الفترة الأخيرة الي تكثيف جهود التطوير و الابتكار و الاستثمار في الطاقة الشمسية (Darwish and Shaaban 2016). هذا وقد بدأ الاهتمام بالطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية منذ حوالي أربعة عقود عندما قام فريق فرنسي بتشغيل نظام ملاحى في مطار المدينة المنورة اعتمادا علي امداده بالطاقة المولدة من الخلايا الكهروضوئية، ثم بدأت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية في عام ١٩٧٧ بإدخال مجال الطاقة الشمسية ضمن أنشطتها البحثية (Hepbasli and Alsuhaibani, 2011). وتمثلت أهم الخطوات العلمية في عام ١٩٩٤ مع زيادة الاهتمام بالحاجة لإجراء قياسات دقيقة للإشعاع الشمسي في أنحاء المملكة ومن ثم تم اطلاق مشروع "أطلس الطاقة السعودي" بين كلا من معهد بحوث الطاقة بمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية و المعهد الوطني الأمريكي لبحوث الطاقة. وفي عام ٢٠٠٨ أعرب وزير البترول السعودي عن سعي المملكة لتكون مركزا علميا رائدا في مجال الطاقة الشمسية وأن تستطيع أن تصدر الطاقة الشمسية في خلال ٣٠-٥٠ عاما (Hepbasli and Alsuhaibani, 2011).

يعد الوقود الأحفوري والغاز الطبيعي هما المصدرين الرئيسيين لتوليد الكهرباء و انتاج المياه المحلاة في المملكة في الوقت الراهن بنسبة ٦٥% و ٢٧% علي الترتيب (Nizami et al. 2015, and Tlili 2015). ومع المخزون الكبير للموارد الهيدروكربونية إلا الخطة المستقبلية الطموحة للطاقة في المملكة تسعى للوصول الي انتاج ٥٠% من احتياجات المملكة بحلول عام ٢٠٣٢ م من مصادر الطاقة المتجددة. ومن أهداف هذه الخطة الطموحة الوصول الي انتاج ٤١ جيجا واط من الطاقة الشمسية فقط و باستثمارات ضخمة للغاية (AlYahya and Irfan, 2016). ومن ثم فقد تم انشاء مدينة الملك عبد الله للطاقة الذرية و المتجددة في عام ١٤٣١ هـ بهدف بناء مستقبل مستدام للمملكة من خلال ادراج مصادر الطاقة الذرية و المتجددة ضمن منظومة الطاقة المحلية. وتشمل أنواع الطاقة المتجددة المنشودة كلا من (مدينة الملك عبد الله للطاقة الذرية و المتجددة ١٤٣٧ هـ):

- طاقة الرياح
- الطاقة المحولة من النفايات
- الطاقة الجوفية الحرارية
- الطاقة الشمسية وتشمل كلا من:
  - الطاقة الكهروضوئية
  - الطاقة الشمسية المركزة

وفي هذا الاطار أطلقت المدينة أطلس مصادر الطاقة المتجددة علي شبكة الانترنت (<http://rratlas.kacare.gov.sa/RRMMPublicPortal/>) والذي يعد مشروعا وطنيا رائدا لقياس مصادر الطاقة المتجددة علي مستوى المملكة بهدف بناء قاعدة بيانات يستفاد منها في تنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة لإنتاج الكهرباء و تحلية المياه. كما أن الأطلس يهدف أيضا لتوفير البيانات المطلوبة للباحثين و الأكاديميين العاملين في مجال الطاقة للاستفادة منها في تطوير التقنيات و الحلول المناسبة لأجواء المملكة و مناخها المختلف في مناطقها المتعددة.

تجدر الإشارة إلى أن بعض الدراسات في المملكة قد أشارت إلى أن تكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية تقل عن تكلفتها من إنتاج البترول إذا ما تم الأخذ في الاعتبار القيمة الاقتصادية للمخاطر البيئية والصحية لاستخدام البترول (Almsoud and Gandayh, 2015). كما أن استخدام مركب من أكثر من مصدر من مصادر الطاقة المتجددة قد يكون أفضل وأوفر اقتصادياً في المملكة (Eltamaly et al., 2014). أما على المستوى الإقليمي فقد بدأت دول مجلس التعاون الخليجي كلها في السنوات الأخيرة إلى الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية (Bhutto et al. 2014). فعلى سبيل المثال فقد حددت الكويت أنها تستهدف الحصول على ١٥%، من احتياجاتها بحلول عام ٢٠٢٠ من الطاقة الشمسية، بينما بلغت نسبة هذا الهدف في سلطنة عمان ١٠% و في مملكة البحرين ٥% و في دولة قطر ٢% (Darwish and Shaaban 2016).

وعلى الجانب التقني فإن نظم المعلومات الجغرافية (GIS) هي الوعاء المثالي لجمع وتخزين ومعالجة وتحليل وعرض البيانات المكانية وغير المكانية لاستنباط حلول تقنية لقضايا متعددة المجالات. وفي المملكة العربية السعودية يعد الزهراني (١٤١٢ هـ) أول من تناول هذا العلم المكاني داعياً لتطبيقه والاستفادة من مميزاته الهائلة في المملكة. وتهدف طريقة نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير إلى دراسة إمكانية توافر عدد من المعايير الطبيعية والاقتصادية والبيئية في بقعة مكانية محددة ومن ثم التوصل إلى مجموعة من البدائل أو الحلول التي توضع أمام متخذ القرار. ولا يقتصر تطبيق هذا الأسلوب على نطاق محدد من المجالات بل أنه استخدم في تحديد أفضل المواقع لعدة أهداف منها: الطاقة المتجددة (Cradden et al. 2016)، تخطيط استخدامات الأرض (Colantoni et al. 2016)، الحصاد المائي (Inamdar et al. 2013)، محطات معالجة مياه الصرف الصحي (Pradhan and Samanta 2015)، محطات الطاقة النووية (Abudeif et al. 2015)، التوسع الزراعي (Saleh et al. 2015)، محطات معالجة النفايات الصلبة (Hassaan 2015)، و تدفئة المياه (Kaiser and Ahmed 2013). وفي المملكة العربية السعودية فقد تم تطبيق هذا الأسلوب في عدة مجالات، فعلى سبيل المثال قامت الدعدي (١٤٣٥ هـ) بتطبيق هذه الطريقة في اختيار أفضل المواقع لإنشاء سدود حصاد مياه الأمطار والسيول في منطقة القصيم. أيضاً استخدمت الرحيلي (١٤٣١ هـ) هذا الأسلوب في اختيار أنسب مواقع دفن النفايات في المدينة المنورة. كما طبق (Dawod 2013) أسلوب تعدد المعايير في تحديد أفضل مواقع إقامة المنشآت السياحية بمنطقة الهدا شرق مكة المكرمة. أما دراسة (Zaidi et al. 2015) فقد طبقت طريقة المعايير المتعددة في تحديد أفضل مناطق إعادة شحن خزان المياه الجوفية في المنطقة الشمالية الغربية من المملكة. تتعلق الدراسة الحالية بتطبيق أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير في تحديد أنسب المواقع المكانية لإقامة مشروعات تجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية بالمملكة العربية السعودية.

تمثل مواقع مشروعات الطاقة الشمسية أمراً بالغ الأهمية في كفاءة الطاقة المولدة وسعرها بالإضافة إلى التأثيرات البيئية لهذه المشروعات. وفي هذا الإطار فقد أثبت أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير كفاءة كبيرة كنظام لمساعدة متخذ القرار من خلال تحديد أفضل مواقع تجميع الطاقة الشمسية. قام (Castillo et al. 2016) بتقييم إمكانيات تجميع الطاقة الشمسية في دول الاتحاد الأوروبي باستخدام أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير. بينما قام كلا من (Wanerer and Herle 2015) بتطوير موقع على شبكة الإنترنت لدراسة أفضل مواقع تجميع الطاقة الشمسية في أسبانيا بناءً على التحليل متعدد المعايير. كذلك طبق كلا من (Dawod and Mandoer 2016) و (Matejcek 2015) و (Tahri et al. 2015) أسلوب المعايير المتعددة لتحديد أنسب مواقع تجميع الطاقة الشمسية في كلا من جمهورية مصر العربية و جمهورية التشيك و المملكة المغربية على الترتيب.

### المنهجية و منطقة الدراسة:

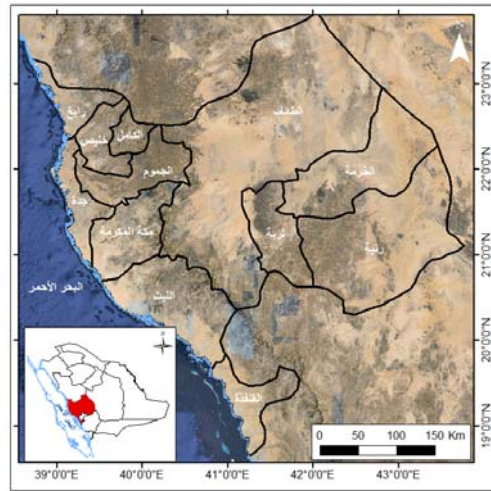
يهدف أسلوب المعايير المتعددة إلى دراسة مدى توافر مجموعة من الشروط أو المعايير في منطقة مكانية محددة وتوفير عدة اختيارات أو بدائل أمام متخذ القرار. وعادة ما يتم تطبيق هذا الأسلوب في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لما توفره من إمكانيات تحليل ومعالجة البيانات وأيضاً عرض النتائج من خلال عدة وسائل بصرية. وهناك ثلاثة طرق لتطبيق المعايير المتعددة وهي: التراكب overlay، وطريقة التحليل التسلسلي الهرمي Analytic Hierarchy Process، وطريقة التركيب الخطي الموزون weighted linear combination. تعتمد الطريقة الأولى على فكرة إيجاد منطقة التداخل بين مجموعة من الطبقات (التي تمثل كل طبقة منهم معياراً معيناً) بهدف الوصول إلى المناطق المكانية التي تتحقق فيها كل هذه المعايير أو الشروط. أما طريقة التحليل التسلسلي الهرمي فتتكون من عدة خطوات تشمل حساب مجموعة النقاط لكل معيار وحساب وزن كل معيار وتحديد أولويات المعايير ومن ثم الوصول إلى تحديد أنسب البدائل (Castillo et al. 2016, and Abudeif et al. 2015). وعلى الجانب الآخر فإن طريقة التركيب الخطي الموزون (المستخدمة في هذه الدراسة) مبنية على مبدأ حساب المتوسط الموزون لمجموعة من المعايير في كل خلية للوصول إلى نموذج ملائمة طبقاً للمعادلة:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i / \sum w \quad (1)$$

حيث:

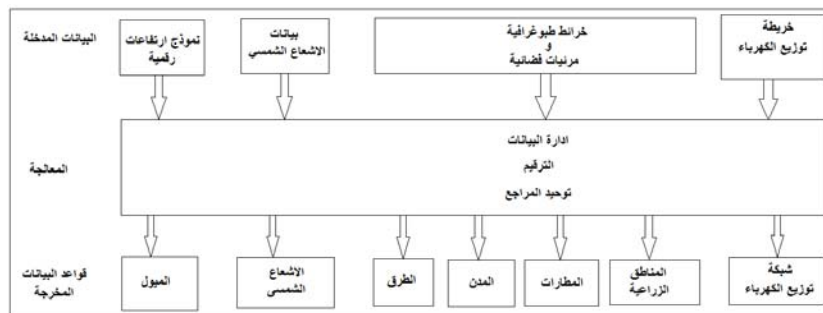
S	معامل الملائمة،
$w_i$	الوزن لكل معيار،
$x_i$	معامل المعيار رقم i،
n	عدد المعايير المطبقة.

تقع منطقة مكة المكرمة الادارية في وسط القطاع الغربي من المملكة العربية السعودية حيث تشمل مساحة شاسعة تمتد بين دائرتي عرض ١٩° و ٢٤° شمالا و خطي طول ٣٩° و ٤٤° شرقا (شكل رقم ١). وتتكون المنطقة من ١١ محافظة بخلاف اماره المنطقة وتأتي في الترتيب الرابع من بين مناطق المملكة من حيث المساحة الجغرافية حيث تبلغ مساحتها نحو ١٤٠.١ ألف كيلومتر مربع وهو ما يعادل ٦.٤ من اجمالي مساحة المملكة (إمارة منطقة مكة المكرمة ١٤٣٣ هـ). وتعد منطقة مكة المكرمة أكبر مناطق المملكة من حيث عدد السكان و تضم ما يزيد عن ربع سكان المملكة حيث اقترب عدد سكانها من سبعة ملايين نسمة طبقا للتعداد العام للسكان و المساكن في عام ١٤٣١ هـ. ومن المتوقع أن يرتفع هذا العدد ليبلغ ٩.٧ مليون نسمة بحلول عام ٢٠٢٥ م (مصلحة الاحصاءات العامة و المعلومات ١٤٣٧ هـ).



شكل رقم (١): منطقة مكة المكرمة الادارية

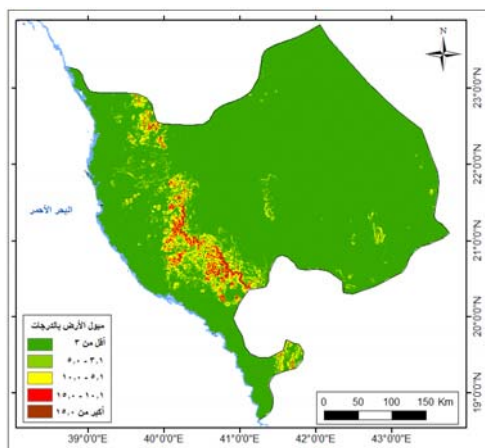
اعتمدت الدراسة علي عدة مصادر للحصول علي البيانات الأولية المطلوبة و تحويلها الي صورة رقمية في اطار نظم المعلومات الجغرافية و من ثم انشاء قواعد البيانات اللازمة (شكل رقم ٢). وتمثلت البيانات الأولية في نموذج ارتفاعات رقمي عالمي من نوع SRTM 3 وعدد من الخرائط الطبوغرافية و المرئيات الفضائية الحديثة بالإضافة الي بيانات الاشعاع الشمسي و خريطة توزيع شبكة الكهرباء و اللذان تم الحصول عليها من أطلس مصادر الطاقة المتجددة.



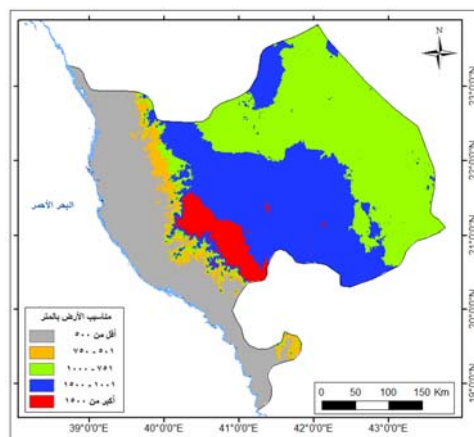
شكل رقم (٢): منهجية اعداد قواعد البيانات المستخدمة

باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي SRTM 3 تبين أن مناسيب سطح الأرض في منطقة مكة المكرمة الادارية تتراوح بين ٩- متر و ٢٥٨٦ متر بمتوسط يبلغ ٨٤٣ متر (شكل رقم ٣). ومن أمثلة جبال المنطقة جبل الحذب في ميسان بلحارث و هو الأعلى ارتفاعا (٢٥٠٠ متر تقريبا فوق سطح البحر) و جبل المصطبة في الدار الحمراء (٢٤٠٠ متر) و جبل دكا في الشفا جنوب الطائف (٢٤٠٠ متر) و جبل كرا في الهدا الي الغرب من الطائف (٢١٧٧ متر) و جبل طويرق (١٨٦٣ متر). كما تتميز تضاريس سطح الأرض في منطقة مكة المكرمة الادارية بوجود مجموعة من الهضاب التي تمتد مع امتداد جبال السروات - الحجاز من الشمال الغربي الي الجنوب الشرقي ومنها هضبة شرق السروات الممتدة من حدود منطقة الباحة جنوبا و حتى مدينة الطائف شمالا و هضبة سهل ركية الممتدة لحوالي ٢٠٠ كيلومتر شمال-جنوب و حوالي ٤٠٠ كيلومتر نحو الشمال الشرقي. كما تشمل طبوغرافية المنطقة مجموعة من السهول الساحلية علي شكل نطاق بوازي ساحل البحر الأحمر و باتساع يتراوح ما بين ١٥ و ٢٥ كيلومتر (هيئة تطوير مكة المكرمة و المشاعر المقدسة، ١٤٢٧ هـ).

كذلك قامت الدراسة الحالية بتطبيق أداة حساب الميول في برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS 10 للحصول علي سطح شبكي يمثل ميول الأرض في منطقة الدراسة، حيث تبين أن الميول تتراوح ما بين الصفر و ٢٨.٥ درجة بمتوسط يبلغ ١.١ درجة (شكل رقم ٤).

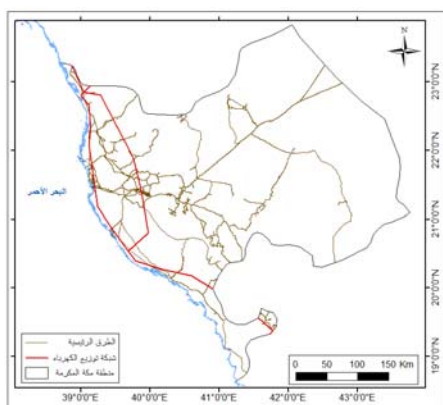


شكل رقم (٤): ميول سطح الأرض في منطقة مكة المكرمة

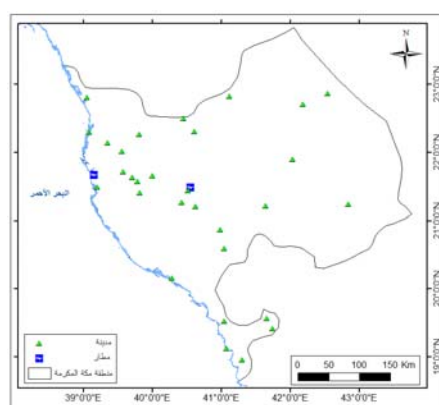


شكل رقم (٣): مناسيب سطح الأرض في منطقة مكة المكرمة

أيضا تم استخدام مجموعة الخرائط الطبوغرافية و المرئيات الفضائية المتعددة في ترقيم عدة طبقات خطية تمثل مواقع المدن الرئيسية و المطارات في منطقة مكة المكرمة الادارية (شكل رقم ٥) و شبكتي الطرق الرئيسية و خطوط توزيع الكهرباء (شكل رقم ٦). وأشارت النتائج الي أن مجموع أطوال شبكة الطرق الرئيسية بمنطقة مكة المكرمة يبلغ حوالي سبعة آلاف كيلومتر، بينما يبلغ مجموع أطوال شبكة توزيع الكهرباء حوالي تسعمائة كيلومتر. كذلك بلغ مجموع أطوال شبكة الأودية و المجاري المائية ما يزيد عن ٢٩ ألف كيلومتر.



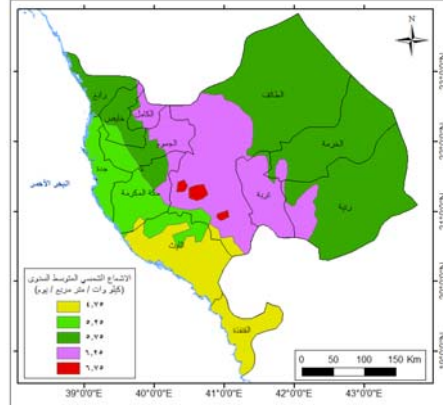
شكل رقم (٦): شبكتي الطرق و توزيع الكهرباء في منطقة مكة المكرمة



شكل رقم (٥): المدن الرئيسية و المطارات في مكة المكرمة الادارية



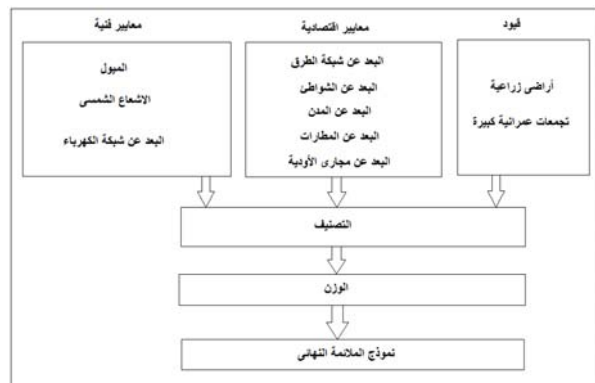
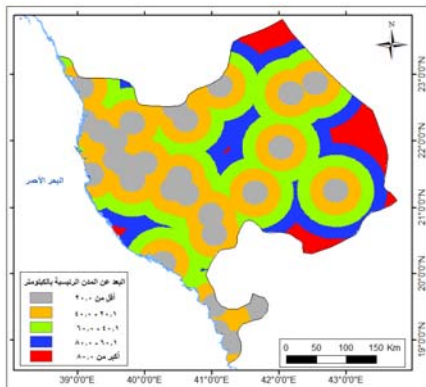
بترقيم بيانات الاشعاع الشمسي التي تم الحصول عليها من أطلس مصادر الطاقة المتجددة تبين أن المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي في منطقة مكة المكرمة الادارية يتراوح بين ٤.٧٥ كيلو وات/متر مربع/يوم و ٦.٧٥ كيلو وات/متر مربع/يوم بمتوسط يبلغ ٦.٠ كيلو وات/متر مربع/يوم. ويشير الشكل رقم ٧ الي أن الاشعاع الشمسي يبلغ قيمه العظمي في الشريحة المتوسطة من المنطقة وخاصة في بعض مرتفعات محافظة الطائف.



شكل رقم (٧): المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي في منطقة مكة المكرمة

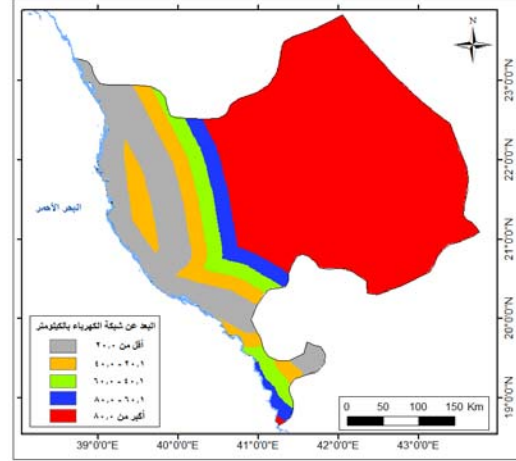
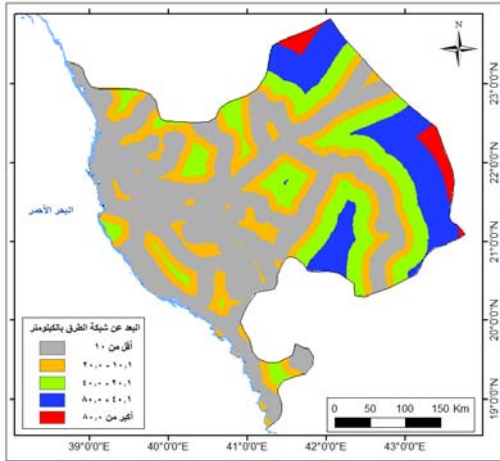
### معالجة البيانات:

تمثلت أولي خطوات معالجة البيانات في التوصل الي مجموعة المعايير المطلوب توافرها في أنسب المواقع المكانية لمشروعات تجميع الطاقة الشمسية. وفي هذا الاطار تم تجميع عدد من الدراسات و البحوث العالمية المتعلقة بذات الموضوع ودراسة المعايير المطبقة في كل دراسة للتوصل الي أدق المعايير التي تؤدي لكفاءة هذه المواقع المكانية في اقامة مشروعات تجميع الطاقة الشمسية بها (Castillo et al. 2016, Watson and Hudson 2015, Recannatesi et al. 2014, Aydin et al. 2013, Sanchez-Lozano et al. 2013, and Uyan 2013). وتعد قيمة الإشعاع الشمسي التي تصل الي سطح الأرض هي المعيار الأول في تجميع الطاقة الشمسية، ثم يأتي بعده معيار ميلول سطح الأرض الذي يؤثر علي تجهيزات و تركيب الأجهزة اللازمة لهذه المشروعات. أيضا فإن البعد عن شبكة توزيع الكهرباء يعد عاملا هاما حيث كلما زادت هذه المسافة كلما زادت كمية الطاقة المفقودة أثناء عملية النقل وأيضا زادت تكلفة نقل الطاقة. أما من الناحية البيئية فإن البعد من المدن الرئيسية و المطارات والطرق و الشواطئ تعد أيضا عوامل هامة في اختيار أنسب مواقع مشروعات الطاقة الشمسية. ومن ثم فقد تم اختيار سبعة معايير فنية و اقتصادية (الجدول رقم ١) يجب توافرها في أنسب مواقع مشروعات الطاقة الشمسية بالإضافة الي تحديد قيدين لتجنب اقامة هذه المشروعات داخل التجمعات العمرانية أو علي أراضي زراعية. أيضا تم تحديد الأوزان النسبية لكل معيار من هذه المعايير كما هو موضح في العمود الأخير من الجدول التالي. وتكونت خطوات معالجة البيانات (شكل رقم ٨) من اشتقاق طبقة شبكية لكل معيار من المعايير المحددة تمثل تصنيف قيم المعيار الي فئات ثم اعادة التصنيف الي درجات علي مقياس يتراوح من ١ الي ١٠ لسهولة العرض و التحليل، ثم تطبيق الأوزان المحددة (المعادلة رقم ١) للوصول الي نموذج الملائمة النهائي. وتعرض الأشكال أرقام ٩، ١٠، ١١ نماذج لطبقات تصنيف المعايير التي تم استنباطها بالنسبة للبعد عن كلاً من المدن الرئيسية و شبكة الكهرباء و شبكة الطرق الرئيسية.



شكل رقم (٨): منهجية استنباط نموذج الملائمة

شكل رقم (٩): البعد عن المدن الرئيسية



شكل رقم (١١): البعد عن الطرق الرئيسية

شكل رقم (١٠): البعد عن شبكة الكهرباء

جدول رقم (١): معايير أنسب مواقع تجميع الطاقة الشمسية

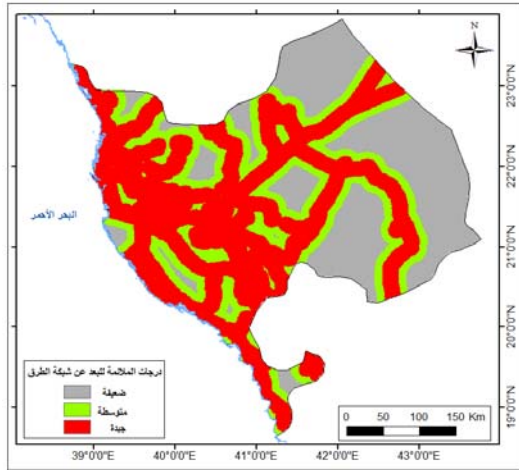
نوع المعيار	المعيار	الفئات	الملائمة	الوزن
تقني	الاشعاع الشمسي (كيلو وات/متر مربع/يوم)	$8 <$ $8 - 6$ $6 - 4.5$ $4.5 >$	عالية متوسطة قليلة غير ملائمة	٠.٣٠
	ميل سطح الأرض (درجة)	$3 - 0$ $5 - 3$ $10 - 5$ $10 <$	عالية متوسطة قليلة غير ملائمة	٠.١٥
	البعد عن شبكة توزيع الكهرباء (كم)	$5 - 0$ $10 - 5$ $20 - 10$ $20 <$	عالية متوسطة قليلة غير ملائمة	٠.١٥
اقتصادي/بيئي	البعد عن شبكة الطرق (كم)	$5 >$ $5 <$	ملائم غير ملائم	٠.١٠
	البعد عن الشواطئ (كم)	$5 <$ $5 >$	ملائم غير ملائم	٠.١٠
	البعد عن المدن (كم)	$5 <$ $5 >$	ملائم غير ملائم	٠.١٠
	البعد عن المطارات (كم)	$3 <$ $3 >$	ملائم غير ملائم	٠.١٠
قيود	حدود التجمعات العمرانية	-	غير ملائم	-
	الأراضي الزراعية	-	غير ملائم	-

### النتائج و المناقشة:

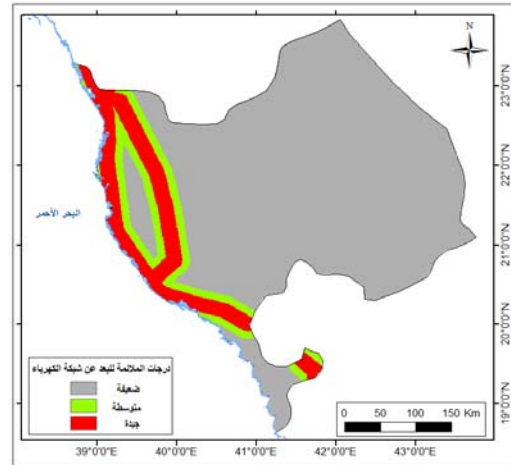
تم تحويل طبقات قيم كل معيار من المعايير الي طبقات تمثل مدي الملائمة المكانية لكل معيار منفردا، أي أنه تم التوصل الي عدة نماذج ملائمة أولية. فعلي سبيل المثال يعرض الشكل رقم (١٢) نموذج الملائمة المكانية لمعيار البعد عن شبكة توزيع الكهرباء، حيث نلاحظ أن المواقع عالية الملائمة هي التي لا تبعد بأكثر من ٥ كيلومترات عن خطوط توزيع هذه الشبكة. ويدل الشكل أيضا الي أن هذه المواقع الملائمة لهذا المعيار تتركز فقط علي الجزء الغربي من منطقة الدراسة و القريب من ساحل البحر الأحمر. أما نموذج الملائمة المبدئي لمعيار البعد عن الطرق الرئيسية (شكل رقم ١٣) فيظهر

مواقع مكانية أكثر حيث أن شبكة الطرق تمتد تقريبا في كامل أرجاء المنطقة الادارية. أما بالنسبة لميول سطح الأرض فقد أظهر نموذج الملائمة المبدئي لهذا المعيار (شكل رقم ١٤) أن معظم أنحاء المنطقة الادارية لها درجات ملائمة جيدة ما عدا الشريحة الوسطي من المنطقة التي لها ميول كبيرة و من ثم كانت درجات الملائمة عندها متوسطة و أحيانا ضعيفة في قمم المرتفعات.

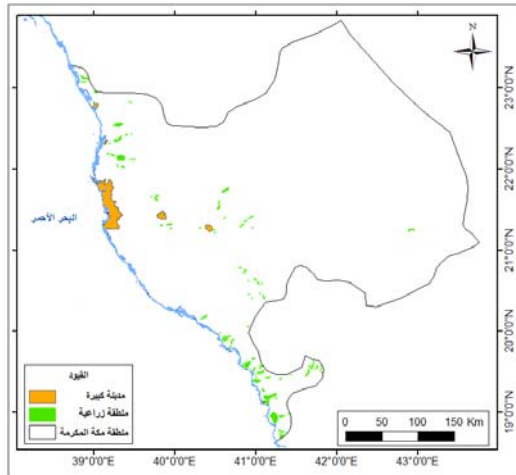
يمثل الشكل رقم (١٥) أماكن القيود التي لا يجب أن يتم عندها اقامة مشروعات تجميع الطاقة الشمسية وهي حدود التجمعات العمرانية و الاراضي الزراعية. ومن ثم فقد تم تطبيق هذه القيود أثناء عملية اشتقاق نموذج الملائمة النهائي الممثل في الشكل رقم ١٦.



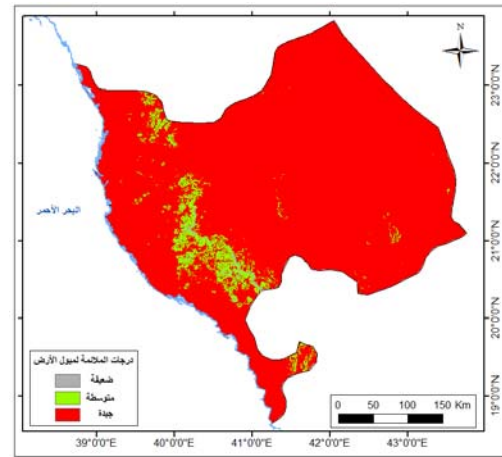
شكل رقم (١٣): درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الطرق



شكل رقم (١٢): درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الكهرباء

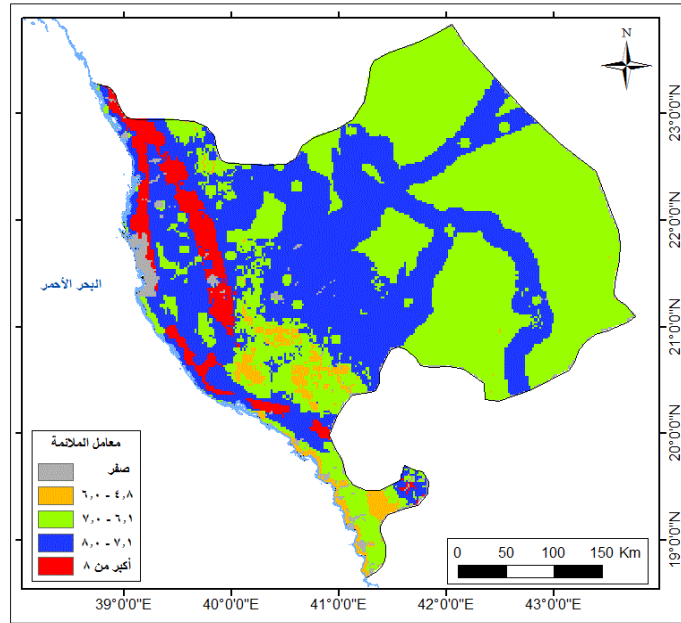


شكل رقم (١٥): القيود المكانية المفروضة على نموذج الملائمة



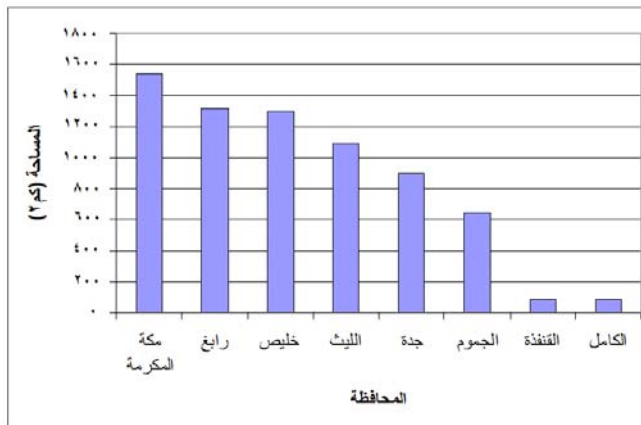
شكل رقم (١٤): درجات الملائمة لمعيار ميول الأرض



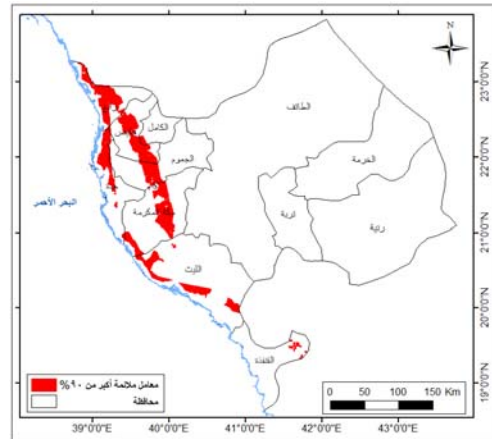


شكل رقم (١٦): نموذج الملائمة النهائي لمواقع حصاد الطاقة الشمسية

تشير نتائج نموذج الملائمة النهائي الي أن كل منطقة مكة المكرمة مناسبة لمشروعات تجميع الطاقة الشمسية بنسب ملائمة تتراوح بين ٤٧% و ٩٧% وبمتوسط يبلغ ٨٠%. وهذه النتائج واعدة و مباشرة لقطاع الطاقة المتجددة في منطقة مكة المكرمة ويجب أخذها في الاعتبار. وبالتحليل الدقيق لهذه المواقع المكانية و درجة ملائمتها تبين أن الأراضي التي تتميز بنسبة ملائمة أكبر من ٩٠% تبلغ مساحتها حوالي ٧ آلاف كيلومتر مربع بنسبة ٥% من اجمالي الاراضي المناسبة (شكل رقم ١٧). ويبين الجدول رقم (٢) والشكل رقم (١٨) توزيع هذه المناطق عالية الملائمة علي محافظات منطقة مكة المكرمة الادارية، حيث تأتي محافظة مكة المكرمة في المركز الأول بنسبة ٢٢% من اجمالي مساحة هذه المناطق تليها محافظتي خليص و رابغ بنسبة ١٩% لكلا منهما. وعلى الجانب الاخر فإن محافظات رنية، تربة، الخرمة، الطائف ليس بها أية مناطق بدرجة ملائمة أكبر من ٩٠%.



شكل رقم (١٨): احصائيات المواقع ذات معامل ملائمة أكبر من ٩٠%



شكل رقم (١٧): مواقع ذات معامل ملائمة أكبر من ٩٠%

**جدول رقم (٢): توزيع المواقع ذات معامل ملائمة أكبر من ٨٠% علي المحافظات**

المحافظة	المساحة (كيلومتر مربع)	النسبة المئوية
مكة المكرمة	١٥٤٠	٢٢ %
خليص	١٢٩٧	١٩ %
رابغ	١٣١٨	١٩ %
الليث	١٠٩٥	١٦ %
جدة	٩٠٢	١٣ %
الجموم	٦٣٩	٩ %
الكامل	٨٥	١ %
القنفذة	٨٣	١ %
رنية - تربة - الخرمة - الطائف	٠	٠
المجموع	٦٩٥٩	١٠٠ %

**الخلاصة و التوصيات:**

تعد الطاقة قوة أساسية مؤثرة علي كافة مناحي الحياة سواء الاقتصادية أو الاجتماعية أو البيئية، ومن ثم فإن استخدام مصادر الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية أضحت قضية هامة علي المستوي العالمي. ركزت الدراسة الحالية علي تطبيق أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير في تحديد أنسب المواقع الملائمة لإقامة مشروعات تجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الادارية. وبناء علي عدد من المعايير الفنية و الاقتصادية و البيئية تم بناء مجموعة من قواعد البيانات المكانية لمنطقة الدراسة ثم استخدمت في استنباط نموذج الملائمة الرقمي. وأشارت النتائج التي تم الحصول عليها الي أن معظم أنحاء منطقة مكة المكرمة الادارية مناسبة لإقامة مشروعات تجميع الطاقة الشمسية و ان كانت بدرجات ملائمة مختلفة تتراوح ما بين ٤٧% و ٩٧% وبمتوسط يبلغ ٨٠%. وبإجراء تحليلات مكانية تفصيلية تبين أن هناك ما يقرب من ٧ آلاف كيلومتر مربع من أراضي المنطقة يبلغ معامل الملائمة فيها أكثر من ٩٠%، حيث تأتي علي محافظة مكة المكرمة في المركز الأول بنسبة ٢٢% من اجمالي مساحة هذه المناطق تليها محافظتي خليص و رابغ بنسبة ١٩% لكلا منهما. وتوصي الدراسة بوضع نموذج الملائمة الذي تم تطويره أمام متخذي القرار لأخذه في الاعتبار في الخطط المستقبلية لمشروعات الطاقة الجديدة في منطقة مكة المكرمة. كما توصي الدراسة أيضا بتعميم أسلوب نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير في كافة خطط التنمية في قطاع الطاقة في المملكة العربية السعودية.

**المراجع:**

**المراجع العربية:**

إمارة منطقة مكة المكرمة (١٤٣٣ هـ) المخطط الاقليمي لمنطقة مكة المكرمة: تفعيل المخطط الاقليمي و الخطة العشرية، تقرير لإمارة منطقة مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

أطلس مصادر الطاقة المتجددة (١٤٣٧ هـ) <http://rratlas.kacare.gov.sa/RRMMPublicPortal> ، تاريخ الدخول: أكتوبر ٢٠١٦.

الدعدي، ماجدة بنت عبد الله (١٤٣٥ هـ) استخدام تقنية الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية لدراسة الحصاد المائي لمياه السبول في منطقة القصيم، رسالة ماجستير، قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

الرحيلي، عهود بنت عائض (١٤٣١ هـ) استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أنسب مواقع دفن النفايات بالمدينة المنورة ، رسالة ماجستير، قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.

الزهراني، رمزي بن أحمد (١٤١٢ هـ) نظم المعلومات الجغرافية: مكوناتها و بعض استعمالاتها، سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية رقم ١٧، معهد البحوث العلمية و احياء التراث الاسلامي، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

غرفة الشرقية (٢٠١٠) اقتصاديات الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، تقرير لمركز الدراسات و البحوث بغرفة الشرقية، المنطقة الشرقية، المملكة العربية السعودية.

وزارة المياه و الكهرباء (١٤٣١ هـ) الكهرباء في المملكة العربية السعودية: نموها و تطورها، تقرير من مركز المعلومات و الاحصاء بوكالة الوزارة للتخطيط و التطوير، المملكة العربية السعودية.

مدينة الملك عبد الله للطاقة الذرية والمتجددة (١٤٣٧ هـ) الطاقة المتجددة،  
<https://www.kacare.gov.sa/ar/futureenergy/renewableenergy/> ، تاريخ الدخول: أكتوبر ٢٠١٦.

مصلحة الإحصاءات العامة والمعلومات (١٤٣٧ هـ) تقديرات السكان للمناطق الإدارية والمحافظات خلال الفترة من ٢٠١٠ إلى ٢٠٢٥، <http://www.cdsi.gov.sa/socandpub/resd> ، تاريخ الدخول: أكتوبر ٢٠١٦.  
هيئة تطوير مكة المكرمة والمشاعر المقدسة (١٤٢٧ هـ) المخطط الإقليمي لمنطقة مكة المكرمة، الجزء الثاني: المعلومات الأساسية والأوضاع الراهنة، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

#### المراجع الانجليزية:

- Abudeif, A., Abdel Moneim, A., and Farrag, A. (2015) Multicriteria decision analysis based on analytic hierarchy process in GIS environment for siting nuclear power plant in Egypt, *Annals of nuclear energy*, No. 75, pp. 682–692.
- Almsoud, A. and Gandayh, H. (2015) Future of solar energy in Saudi Arabia, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, No. 27, pp. 153–157.
- Altamaly, A., Addoweesh, K., Bawa, U., and Mohamed, M. (2014) Economic modeling of hybrid renewable energy system: A case study in Saudi Arabia, *Arabian Journal of Sciences and Engineering*, No. 39, pp. 3827–3839.
- AlYahya, S. and Irfan, M. (2016) The techno-economic potential of Saudi Arabia's solar industry, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 55, pp. 697–702.
- Aydin, N., Kentel, E., and Duzgun, S. (2013) GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey, *Energy conversion and management*, No. 70, pp. 90-106.
- Bhutto, A., Bazmi, A., Zahedi, G., and Klemes, J. (2014) A review of progress in renewable energy implementation in the Gulf Cooperation Council countries, *Journal of Cleaner Production*, No. 71, pp. 168-180.
- Castillo, C., Silva, F., and Lavallo, C. (2016) Assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28, *Energy policy*, No. 88, pp. 86-99.
- Colantoni, A., Delfanti, L., Recanatesi, F., Tolli, M., and Lord, R. (2016) Land use planning for utilizing biomass residues in Tusciana Romana (central Italy): Preliminary results of a multi criteria analysis to create an agro-energy district, *Land use policy*, No. 50, pp. 125–133.
- Cradden, L. , Kalogeri, C. , Martinez Barrios, I., Galanis, G., Ingram, D. and Kallos, G., (2016) Multi-criteria site selection for offshore renewable energy platforms, *Renewable energy*, No. 87, pp. 791-806.
- Darwish, A. and Shaaban, S. (2016) Solar and wind energy: Present and future energy prospects in the Middle East and North Africa, In: Sayigh, A. (ed.), *Renewable Energy in the Service of Mankind Volume II*, Springer International Publishing, Switzerland.
- Dawod, G., and Mandoer, M. 2016, Optimum sites for solar energy harvesting in Egypt based on multi-criteria GIS, *The first Future University international conference on new energy and environmental engineering*, April 11-14, Cairo, Egypt, pp. 450-456.
- Dawod, G., 2013, Suitability analysis for tourist infrastructures utilizing multi-criteria GIS: A case study in Al-Hada city, Saudi Arabia, *International journal of geomatics and geosciences*, V. 4, No. 2, pp. 313-24.
- Hassaan, M. (2015) A GIS-based suitability analysis for sitting a solid waste incineration power plant in an urban area case study: Alexandria governorate, Egypt, *Geographic information system*, No. 7, pp. 643-657.

- Hepbasli, A. and Alsuhaibani, Z. (2011) A key review on present status and future directions of solar energy studies and applications in Saudi Arabia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 15, pp. 5021– 5050.
- Inamdar, P., Cook, S., Sharma, A., Corby, N., Connor, J., and Perera, B. (2013) A GIS based screening tool for locating and ranking of suitable storm water harvesting sites in urban areas, *Environmental management*, No. 128, pp. 363-370.
- Kaiser, M. and Ahmed, S. (2013) Optimal thermal water locations along the Gulf of Suez coastal zones, Egypt, *Renewable Energy*, No. 55, pp. 374-379.
- Matejcek, L. (2015) Multi-criteria analysis for sources of renewable energy using data from remote sensing, Presented at the 36th international symposium on remote sensing of environment, Berlin, Germany, May 11-15.
- Nizami, A., Ouda, O./., Rehan, M., El-Maghraby, A., Gardy, J., Hassanpour, A., Kumar, S., and Ismail, I. (2015) The potential of Saudi Arabian natural zeolites in energy recovery technologies, *Energy*, DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.030.
- Pradhan, J. and Samanta, K. (2015) Site suitability analysis using remote sensing and GIS for proper selection of solid waste disposal ground within Rajarhat, Gopalpur municipal area, Kolkata, West Bengal, *International journal of geomatics and geosciences*, V. 5, No. 4, pp. 640-654.
- Uyan, M. (2013) GIS-based solar farms site selection using analytic process in Karapinar region, Konya, Turkey, *Renewable and sustainable energy reviews*, No. 28, pp. 11-17.
- Recanatesi, F., Tolli, M., and Lord, R. (2014) Multi criteria analysis to evaluate the best locations of plants for renewable energy by forest biomass: A case study in central Italy, *Applied mathematical sciences*, V. 8, No. 129, pp. 6447-6458.
- Saleh, A., Belal, A., and Mohamed, E. (2015) Land resources assessment of El-Galaba basin, south Egypt for the potentiality of agriculture expansion using remote sensing and GIS techniques, *Egyptian journal of remote sensing and space sciences*, No. 18, pp. S19–S30.
- Sanchez-Lozano, J., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P., and Garcia-Cascales, S. (2013) Geographic information systems (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain, *Renewable and sustainable energy review*, No. 24, pp. 544-556.
- Tahri, M., Hakdaoui, M., and Maanan, M. (2015) The evaluation of solar farm locations applying geographic information system and multi-criteria decision-making methods: Case study in southern Morocco, *Renewable and sustainable energy review*, No. 51, pp. 1354-1362.
- Tlili, I. (2015) Renewable energy in Saudi Arabia: current status and future potentials, *Environ Dev Sustain*, No. 17, pp. 859–886.
- Wanerer, T. and Herle, S. (2015) Creating a spatial multi-criteria decision support system for energy related integrated environmental impact assessment, *Environmental impact assessment review* No. 52, pp. 2-8.
- Watson, J. and Hudson, M. (2015) Regional scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-based multi-criteria evaluation, *Landscape and urban planning*, No. 138, pp. 20-31.
- Zaidi, F., Nazzal, Y., Ahmed, I., Naeem, M., and Jafri, M. (2015) Identification of potential artificial groundwater recharge zones in Northwestern Saudi Arabia using GIS and Boolean logic, *Journal of African Earth Sciences*, No. 111, pp. 156-169.