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

جمعة محمد داود [1]، خالد بن عبد الرحمن الغامدي [2]، مسعد سلامة مندور [3]

[1] معهد بحوث المساحة، المركز القومى لبحوث المياه، القاهرة، جمهورية مصر العربية
dawod_gomaa@yahoo.com
[2] قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية
kaghamdi@uqu.edu.sa
[3] قسم الجغرافيا، كلية الاداب، جامعة المنصورة، المنصورة، جمهورية مصر العربية
mosaad_3_70@hotmail.com

الملخص:

تعد الطاقة الشممسمية أحد أهم مكوناق الطاقة المتجددة الت تشمكا مصمدرا هاما من مصمادر الطاقة النمي ة ف العديد من المجالاق خاصممة تحلية المياه و توليد الكهرباء. ومع زيادة اسممتهلاا الكهرباء ف المملكة العربية السممعودية بمعدا سممنوي 5% فقد تم اطلاق المبادرة الوطنية لإنتاج المياه و الكهرباء والت تسمممممعى للحصمممموا عل ما يقارب 41 جيجا واط من الكهرباء بحلوا عام 1453 هـ. تهدف الدراسة الحالية ال تطبيق أسلوب نمم المعلوماق الجغرافية متعددة المعايير لتحديد أنسممب المواقع المكانية لتجميع الطاقة الشمممسممممية ف منطقة مكة المكرمة الادارية، اعتمادا على مجموعة من الشممروط و المعايير المطلوبة س مواء الجغرافية أو ال نية أو البي ية أو الاقتص مادية للحصمموا عل نمورج ملا مة رقم يو م أف ما مواقع انشاء محطاق الطاقة الشمسية .قامق الدراسة بتحديد المعايير المطلوبة طبقا للمواص اق العالمية و انشاء قاعدة بياناق جغرافية رقمية لهره الاشتراطاق ومن ثم دمج هره الاشتراطاق ف نمام معلوماق جغراف متكاما بهدف الحصوا عل نمورج الملا مة المكانية المطلوب. وتشممير نتا ج الدراسممة ال أن كا منطقة مكة المكرمة مناسممبة لمشممروعاق تجميع الطاقة الشمسية بنسب ملا مة تتراوح بين 47% و 97% وبمتوسط يبلغ 80%، وتبلغ مساحة الأرا الت تتميز بنسبة ملا مة أكبر من 90% حوال 7 آلاف كيلومتر مربع بنسبة 5% من اجمال الارا المناسبة .و تتركز هره الارا عالية الملا مة ف محافمة مكة المكرمة بنسممبة 22% تليها محافمتى رابغ و خليص بنسممبة 19% لكلا منهما ثم محافمة جدة بنسبة 13%. وتم عما خريطة رقمية تو التوزيع المكان للأرا الملا مة لمشروعاق حصاد الطاقة الشمسية بمنطقة مكة المكرمة الادارية. وتوصممم الدراسممة بو ممع النتا ج الت تم الحصمموا عليها أمام متخري القرار لتطبيقها ف الخطة الوطنية لمصادر الطاقة المتجددة ف المملكة العربية السعودية .

كلمات مفتاحيه: نمم المعلوماق 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 ف جميع مجالاق الحياة عل المستوى العالم و ف المملكة العربية السمممممعودية ف العقدين الأخيرين. ف ال ترة ما بين عام 1990 م و 2009 م زادق قدرة التوليد ال علية للكهرباء ف المملكة من 15212 ميجا واط الى 51302 ميجا واط بمعدا زيادة متوسمممممطة تتعدي 7% سمممممنويا، كما زاد نصمممممميب المشمممممترا الواحد من 23928 كيلو واط/سمممماعة ال 33936 كيلو واط/سمممماعة ف ن ر ال ترة الزمنية وزارة المياه و الكهرباء 1431 هـ(.

ان الطاقة الشممسمية ه أحد مصمادر الطاقة المتجددة الت يمكن اسمتغلالها ف أي مكان و تشمكا مصمدرا مجانيا لا ين مب لكافة الاحتياجاق. ومن مميزاق هرا النوع من الطاقة المتجددة أنه طاقة نمي ة لا ينتج عنها أية ملوثاق للبي ة أو أية أ ممرار عل صممممحة البشممرر، كما أنها طاقة مجانية و متجددة ومن مصممممدر لا ين ممب عل الاطلاق بخلاف أنواع الطاقة التقليدية المحدودة. ويمكن اسمتخدام الطاقة الشممسمية ف العديد من المجالاق الت تشمما تسمخين و تحلية المياه والتدف ة و الانارة و معالجة مياه الصرف الصح بالإ افة ال توليد الكهرباء . وف العقدين الأخيرين زاد الاهتمام عل المستوي العالم بتقنياق و أسممماليب و طرق تجميع الطاقة الشممممسممية و تحويلها ال كهرباء .وبلغ معدا النمو السممنوي لإنتاج الطاقة الشمسية 23% خلاا ال ترة من عام 1980 حتى عام 2001، بينما شهد انتاج الطاقة الشمسية نموا بقيمة 15% خلاا عام 2007 فقط غرفة الشرقية 2010(. وتجدر الاشارة ال أن التوسع ف انتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية قد ساهم ف خ ض أسممممعارها بنسممممبة 4% سممنويا ف الخمسممممة عشممممرة الأخيرة غرفة الشممممرقية 2010(. وتتمتع المنطقة العربية و الشرق الأوسط بص ة عامة بمعدلاق عالية من الاشعاع الشمس الري يمكن تحويله ال طاقة شمسية، ومن ثم فقد اتجهق دوا هرا المنطقة ف ال ترة الأخيرة ال تكثيف جهود التطوير و الابتكار و الاسممممتثمار ف الطاقة الشممممممسممممية (Darwish and Shaaban 2016). هرا وقد بدأ الاهتمام بالطاقة الشممممسممية ف المملكة العربية السممعودية منر حوال أربعة عقود عندما قام فريق فرنسممممم بتشمممممغيا نمام ملاح ف مطار المدينة المنورة اعتمادا عل امداده بالطاقة المولدة من الخلايا الكهرو ممو ية، ثم بدأق مدينة الملا عبد العزيز للعلوم والتقنية ف عام 1977 بإدخاا مجاا الطاقة الشممممسممممية مممن أنشممممطتها البحثية Hepbasli (and Alsuhaibani, 2011). وتمثلق أهم الخطواق العلمية ف عام 1994 مع زيادة الاهتمام بالحاجة لإجراء قياسمماق دقيقة لعشممعاع الشممممسم ف أنحاء المملكة ومن ثم تم اطلاق مشممروع أطلر الطاقة السمممممعودي بين كلا من معهد بحوث الطاقة بمدينة الملا عبد العزيز للعلوم و التقنية و المعهد الوطن الأمريك لبحوث الطاقة .وف عام 2008 أعرب وزير البتروا السمممممعودي عن سممممع المملكة لتكون مركزا علميا را دا ف مجاا الطاقة الشمسية وأن تستطيع أن تصدر الطاقة الشمسية ف خلاا 30-50 عاما (Hepbasli and Alsuhaibani, 2011).

يعد الوقود الأح وري والغاز الطبيع هما المصممممممدرين الر يسممممميين لتوليد الكهرباء و انتاج المياه المحلاة ف المملكة ف الوقق الراهن بنسمممممبة 65% و 27% عل الترتيب (Nizami et al. 2015, and Tlili 2015). ومع المخزون الكبير للموارد الهيدروكربونية إلا الخطة المسمممممتقبلية الطموحة للطاقة ف المملكة تسمممممعى للوصمممممموا ال انتاج 50% من احتياجاق المملكة بحلوا عام 2032 م من مصادر الطاقة المتجددة. ومن أهداف هره الخطة الطموحة الوصوا ال انتاج 41 جيجا واط من الطاقة الشمسية فقط و باستثماراق خمة للغاية (AlYahya and Irfan, 2016). ومن ثم فقد تم انشاء مدينة الملا عبد الله للطاقة الررية و المتجددة ف عام 1431 هـ بهدف بناء مستقبا مستدام للمملكة من خلاا ادراج مصمادر الطاقة الررية و المتجددة ممن منمومة الطاقة المحلية. وتشمما أنواع الطاقة المتجددة المنشمودة كلا من مدينة الملا عبد الله للطاقة الررية و المتجددة 1437 هـ:(

- طاقة الرياح
- الطاقة المحولة من الن اياق
- الطاقة الجوفية الحرارية
- الطاقة الشمسية وتشما كلا من:
  - الطاقة الكهرو و ية
  - الطاقة الشمسية المركزة

وفم همرا الاطممار أطملمقمق المممديمنممة أطملمر مصممممممممممادر المطمماقممة المممتمجممددة عملم شمممممممممبمكممة الانمتمرنممق http://rratlas.kacare.gov.sa/RRMMPublicPortal/(والري يعد مشمممممروعا وطنيا را دا لقيار مصمممممادر الطاقة المتجددة عل مستوى المملكة بهدف بناء قاعدة بياناق يست اد منها ف تن ير مشاريع الطاقة المتجددة لإنتاج الكهرباء و تحلية المياه. كما أن الأطلر يهدف أي مممممما لتوفير البياناق المطلوبة للباحثين و الأكاديميين العاملين ف مجاا الطاقة للاست ادة منها ف تطوير التقنياق و الحلوا المناسبة لأجواء المملكة و مناخها المختلف ف مناطقها المتعددة .

تجدر الاشمممارة ال أن بعض الدراسممماق ف المملكة قد أشمممارق ال أن تكل ة انتاج الكهرباء من الطاقة الشمممممسممممية تقا عن تكل تها من انتاج البتروا ارا ما تم الأخر ف الاعتبار القيمة الاقتص مممادية للمخاطر البي ية و الص مممحية لاس مممتخدام البتروا (Almsoud and Gandayh, 2015). كما أن استخدام مركب من أكثر من مصدر من مصادر الطاقة المتجددة قد يكون أف ا و أوفر اقتصاديا ف المملكة (Eltamaly et al., 2014). أما عل المستوي الاقليم فقد بدأق دوا مجلر التعاون الخليج كلها ف السنواق الأخيرة ال الاستثمار ف مصادر الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية (Bhutto et al. 2014). فعل سممبيا المثاا فقد حددق الكويق أنها تسممتهدف الحصممموا عل 15%، من احتياجاتها بحلوا عام 2020 من الطاقة الشممسمية، بينما بلغق نسمبة هرا الهدف ف سلطنة عمان 10% و ف مملكة البحرين 5% و ف دولة قطر 2% (Darwish and Shaaban 2016).

وعل الجانب التقن ف ن نمم المعلوماق الجغرافية (GIS(ه الوعاء المثال لجمع و تخزين و معالجة و تحليا و عرض البياناق المكانية و غير المكانية لاستنباط حلوا تقنية لق ايا متعددة المجالاق. وف المملكة العربية السعودية يعد الزهران 1412 هممم(أوا من تناوا هرا العلم المكانى داعيا لتطبيقه والاست ادة من مميزاته الها لة ف المملكة .و تهدف طريقة نمم المعلوماق الجغرافية متعددة المعايير ال دراسمممممة امكانية توافر عدد من المعايير الطبيعية و الاقتصمممممادية و البي ية ف بقعة مكانية محددة ومن ثم التوصمممممما ال مجموعة من البدا ا أو الحلوا الت تو مممممع أمام متخرى القرار .ولا يقتص ممر تطبيق هرا الأس مملوب عل نطاق محدد من المجالاق با أنه اس ممتخدم ف تحديد أف مما المواقع لعدة أهداف منها:

الطاقة المتجددة (Cradden et al. 2016) ، تخطيط اسمتخداماق الأرض (Colantoni et al. 2016)، الحصماد الما (Inamdar et al. 2013)، محطاق معالجة مياه الصرف الصح (Pradhan and Samanta 2015)، محطاق الطاقة النووية (Abudeif et al. 2015)، التوسمممممع الزراع (Saleh et al. 2015)، محطاق معالجة الن اياق الصممممملبة (Hassaan 2015)، و تدف ة المياه (Kaiser and Ahmed 2013). وف المملكة العربية السعودية فقد تم تطبيق هرا الأسلوب ف عدة مجالاق، فعل سبيا المثاا قامق الدعدي 1435 هممم(بتطبيق هره الطريقة ف اختيار أف ا المواقع لإنشاء سدود حصاد مياه الأمطار و السيوا ف منطقة القصيم. أي ا استخدمق الرحيل 1431 هممممممم(هرا الأسلوب ف اختيار أنسب مواقع دفن الن اياق ف المدينة المنورة. كما طبق (Dawod 2013) أسلوب تعدد المعايير ف تحديد أف مما مواقع اقامة المنشمم اق السممياحية بمنطقة الهدا شممرق مكة المكرمة. أما دراسممة (Zaidi et al. 2015(فقد طبقق طريقة المعايير المتعددة ف تحديد أف ما مناطق اعادة شمحن خزان المياه الجوفية ف المنطقة الشممالية الغربية من المملكة. تتعلق الدراسمممممة الحالية بتطبيق أسمممممملوب نمم المعلوماق الجغرافية متعددة المعايير ف تحديد أنسمممممب المواقع المكانية لإقامة مشروعاق تجميع الطاقة الشمسية ف منطقة مكة المكرمة الادارية بالمملكة العربية السعودية .

تمثا مواقع مشروعاق الطاقة الشمسية أمرا بالغ الأهمية ف ك اءة الطاقة المولدة و سعرها بالإ افة ال الت ثيراق البي ية لهره المشروعاق .وف هرا الاطار فقد أثبق أسلوب نمم المعلوماق الجغرافية متعددة المعايير ك اءة كبيرة كنمام لمساعدة متخري القرار من خلاا تحديد أف مما مواقع تجميع الطاقة الشمممممسممممية. قام 2016(Castillo et al.) بتقييم امكانياق تجميع الطاقة الشمسية ف دوا الاتحاد الأوروب باستخدام أسلوب نمم المعلوماق الجغرافية متعددة المعايير .بينما قام كلا من (Wanerer and Herle 2015) بتطوير موقع عل شبكة الانترنق لدراسة أف ا مواقع تجميع الطاقة الشمسية ف أسمممممممبممانيمما بنمماءا عل التحليمما متعممدد المعممماييير. كممرلمما طبق كلا من Dawod and Mandoer (2016), و Matejicek (2015) و Tahri et al. (2015) أسلوب المعايير المتعددة لتحديد أنسب مواقع تجميع الطاقة الشمسية ف كلا من جمهورية مصر العربية و جمهورية التشيا و المملكة المغربية عل الترتيب .

المنهجية و منطقة الدراسة:

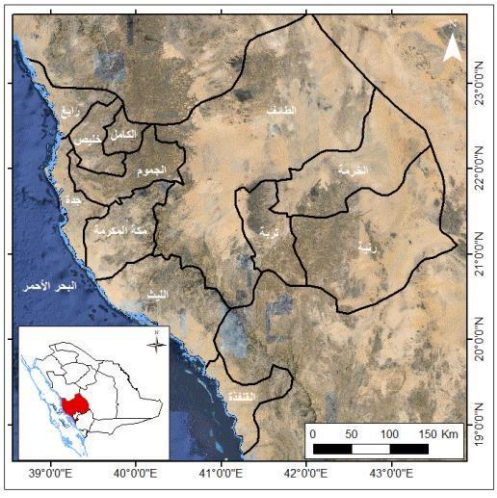
يهدف أسلوب المعايير المتعددة ال دراسة مدى توافر مجموعة من الشمروط أو المعايير ف منطقة مكانية محددة وتوفير عدة اختياراق أو بدا ا أمام متخرى القرار. وعادة ما يتم تطبيق هرا الأسلوب ف بي ة نمم المعلوماق الجغرافية لما توفره من امكانياق تحليا و معالجة البياناق و أي مما عرض النتا ج من خلا عدة وسمما ا بصممرية. وهنا ثلاثة طرق لتطبيق المعايير المتعددة وه : التراكب overlay، و طريقة التحليا التسملسمل الهرمى Analytic Hierarchy Process، و طريقة التركيب الخط الموزون weighted linear combination. تعتمد الطريقة الاول عل فكرة ايجاد منطقة التداخا بين مجموعة من الطبقاق الت تمثا كا طبقة منهم معيارا معينا(بهدف الوصمممموا ال المناطق المكانية الت تتحقق فيها كا هره المعايير أو الشممروط. أما طريقة التحليا التسملسمل الهرم فتتكون من عدة خطواق تشممما حسمماب مجموعة النقاط لكا معيار و حسمماب وزن كا معيار وتحديد أولوياق المعايير ومن ثم الوصمموا ال تحديد أنسممب البدا ا (Castillo et al. 2016, and Abudeif et al. 2015). وعل الجممان ب افخر فمم ن طريق ة التركي ب الخط الموزون المسممممتخدمة ف هره الدراسممممة(مبنية عل مبدأ حسمماب المتوسممممط الموزون لمجموعة من المعايير ف كا خلية للوصوا ال نمورج ملا مة طبقا للمعادلة:

$$S = \sum w_i x_i / \sum w \quad (1)$$

حيث:

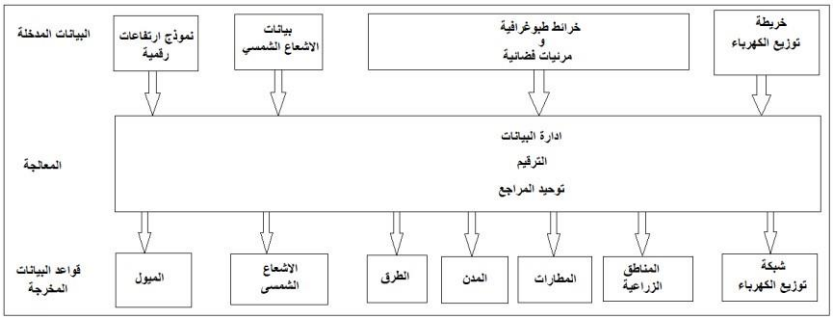
S معاما الملا مة، w_i
الوزن لكا معيار ، x_i
معاما المعيار رقم i، n
عدد المعايير المطبقة.

تقع منطقة مكة المكرمة الادارية ف وس ط القطاع الغرب من المملكة العربية الس عودية حيث تش ما مسمماحة ش اس عة تمتد بين دا رت عرض 19º و 24º شممممالا و خط طوا 39º و 44º شممرقا شممكا رقم 1(. وتتكون المنطقة من 11 محافمة بخلاف امارة المنطقة وت ت ف الترتيب الرابع من بين مناطق المملكة من حيث المسمممممماحة الجغرافية حيث تبلغ مسمممماحتها نحو 1.140 ألف كيلومتر مربع وهو ما يعادا 4.6 من اجمال مسمممماحة المملكة إمارة منطقة مكة المكرمة 1433 هـ ممم(. وتعد منطقة مكة المكرمة أكبر مناطق المملكة من حيث عدد السكان و ت م ما يزيد عن ربع سكان المملكة حيث اقترب عدد سكانها من سبعة ملايين نسمة طبقا للتعداد العام للسكان و المساكن ف عام 1431 هم. ومن المتوقع أن يرت ع هرا العدد ليبلغ 7.9 مليون نسمة بحلوا عام 2025 م مصلحة الاحصاءاق العامة و المعلوماق 1437 هـ(.



شكل رقم)1(: منطقة مكة المكرمة الادارية

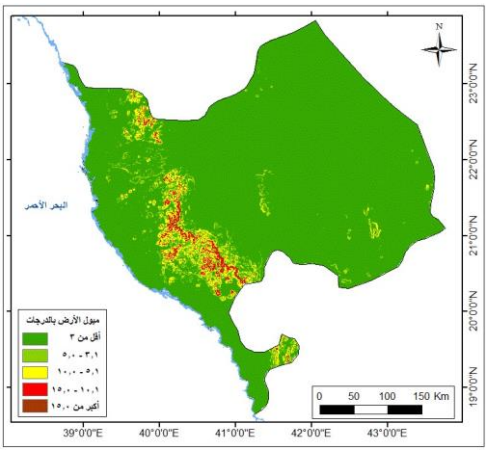
اعتمدق الدراسممة عل عدة مصمممادر للحصمممموا عل البياناق الأولية المطلوبة و تحويلها ال صمممورة رقمية ف اطار نمم المعلوماق الجغرافية و من ثم انشمممماء قواعد البياناق اللازمة شمممكما رقم 2(. وتمثلق البياناق الأولية ف نمورج ارت اعاق رقم عالم من نوع SRTM 3 وعدد من الخرا ط الطبوغرافية و المر ياق ال مممما ية الحديثة بالإ مممممافة ال بياناق الاشعاع الشمس و خريطة توزيع شبكة الكهرباء و اللران تم الحصوا عليها من أطلر مصادر الطاقة المتجددة .

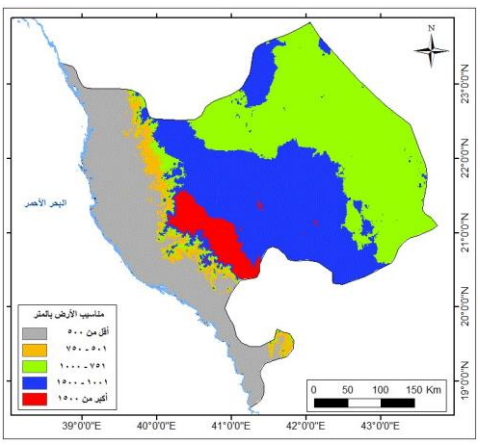


شكل رقم)2(: منهجية اعداد قواعد البيانات المستخدمة

باسمتخدام نمورج الارت اعاق الرقمية العالم SRTM 3 تبين أن مناسميب سمط الأرض ف منطقة مكة المكرمة الادارية تتراوح بين -9 متر و 2586 متر بمتوسط يبلغ 843 متر شكا رقم 3(. ومن أمثلة جبا المنطقة جبا الحدب ف ميسان بلحارث و هو الأعلى ارت اعا 2500 متر تقريبا فوق سمط البحر(و جبا المصممطبة ف الدار الحمراء 2400 متر(و جبا دكا ف الشمم ا جنوب الطا ف 2400 متر(و جبا كرا ف الهدا ال الغرب من الطا ف 2177 متر(وجبا طويرق 1863 متر.(كما تتميز ت ارير سط الأرض ف منطقة مكة المكرمة الادارية بوجود مجموعة من اله اب الت تمتد مع امتداد جبا السرواق - الحجاز من الشما الغرب ال الجنوب الشرق ومنها ه بة شرق السرواق الممتدة من حدود منطقة الباحة جنوبا و حتى مدينة الطا ف شمالا و ه بة سها ركبة الممتدة لحوال 200 كيلومتر شما- جنوب و حوال
400 كيلومتر نحو الشما الشرق . كما تشما طبوغرافية المنطقة مجموعة من السهوا الساحلية عل شكا نطاق يوازي ساحا البحر الأحمر و باتساع يتراوح ما بين 15 و 25 كيلومتر هي ة تطوير مكة المكرمة و المشاعر المقدسة ،1427 هـ(.

كرلا قامق الدراسممة الحالية بتطبيق أداة حسممماب الميوا ف برنامج نمم المعلوماق الجغرافية Arc GIS 10 للحصممموا عل سمط شممبك يمثا ميوا الأرض ف منطقة الدراسممة، حيث تبين أن الميوا تتراوح ما بين الصمم ر و 5.28 درجة بمتوسط يبلغ 1.1 درجة شكا رقم 4(.

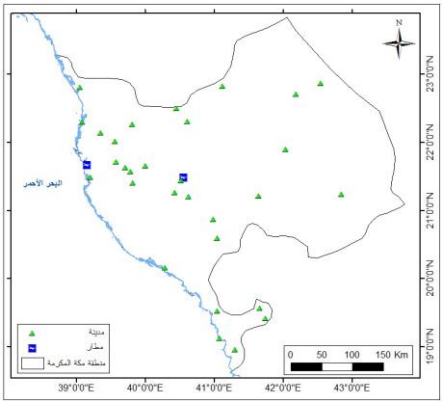




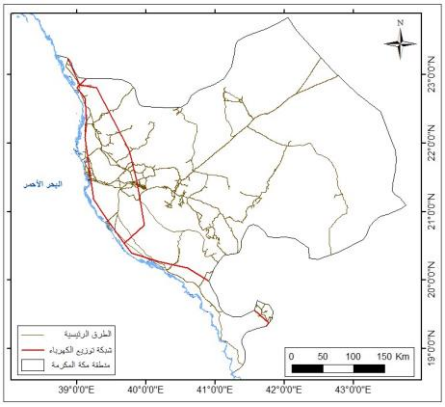
شكل رقم) 3(: مناسيب سطح الأرض في منطقة مكة المكرمة

شكل رقم) 4(: ميول سطح الأرض في منطقة مكة المكرمة

أي مما تم اسممتخدام مجموعة الخرا ط الطبوغرافية و المر ياق ال مما ية المتعددة ف ترقيم عدة طبقاق خطية تمثا مواقع المدن الر يسمية و المطاراق ف منطقة مكة المكرمة الادارية شمكا رقم 5(و شمبكت الطرق الر يسمية و خطوط توزيع الكهرباء شممكا رقم 6(. وأشممارق النتا ج ال أن مجموع أطوا شممبكة الطرق الر يسممية بمنطقة مكة المكرمة يبلغ حوال سبعة آلاف كيلومتر، بينما يبلغ مجموع أطوا شبكة توزيع الكهرباء الر يسية حوال تسعما ة كيلومتر .كرلا بلغ مجموع أطوا شبكة الأودية و المجاري الما ية ما يزيد عن 29 ألف كيلومتر .

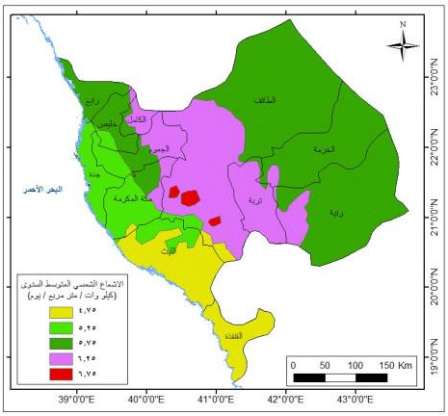


شكل رقم)5(: المدن الرئيسية و المطارات في مكة المكرمة الادارية



شكل رقم) 6(: شبكتى الطرق و توزيع الكهرباء في منطقة مكة المكرمة

بترقيم بياناق الاشمعاع الشممسم الت تم الحصموا عليها من أطلر مصمادر الطاقة المتجددة تبين أن المتوسمط السمنوي لعشمعاع الشممسم ف منطقة مكة المكرمة الادارية يتراوح بين 75.4 كيلو واق/متر مربع/يوم و 75.6 كيلو واق/متر مربع/يوم بمتوسط يبلغ 0.6 كيلو واق/متر مربع/يوم .ويشير الشكا رقم 7 ال أن الاشعاع الشمس يبلغ قيمه العمم ف الشريحة المتوسطة من المنطقة وخاصة ف بعض مرت عاق محافمة الطا ف .

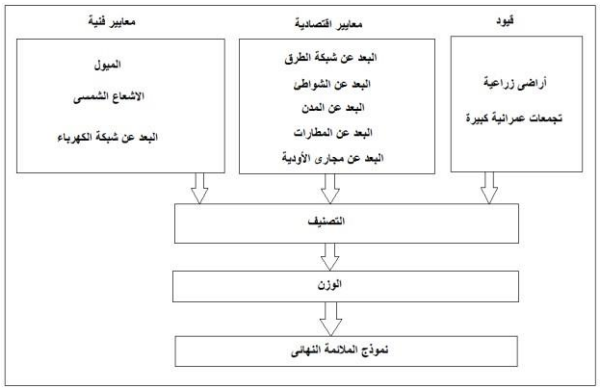


شكل رقم) 7(: المتوسط السنوى للإشعاع الشمسي في منطقة مكة المكرمة

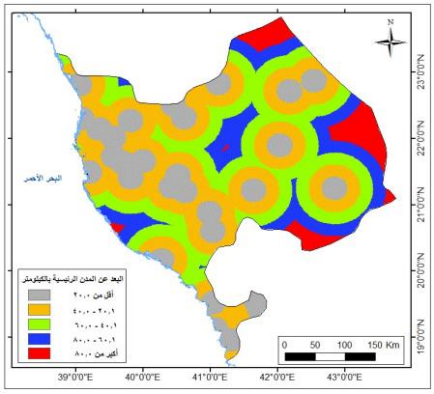
معالجة البيانات:

تمثلق أول خطواق معالجة البياناق ف التوص مممما ال مجموعة المعايير المطلوب توافرها ف أنس مممممب المواقع المكانية لمشمممروعاق تجميع الطاقة الشمممممسمممممية. وف هرا الاطار تم تجميع عدد من الدراسمممماق و البحوث العالمية المتعلقة براق المو موع ودراسمة المعايير المطبقة ف كا دراسمة للتوصما ال أدق المعايير الت تؤدي لك اءة هره المواقع المكانية ف

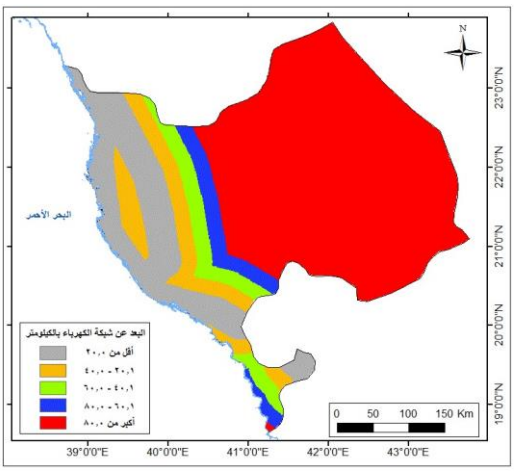
اقامة مش مممروعاق تجميع الطاقة الش مممممس مممية بها (Castillo et al. 2016, Watson and Hudson 2015,
Recannatesi et al. 2014, Aydin et al. 2013, Sanchez-Lozano et al. 2013, and Uyan 2013). وتعد قيمة الاشعاع الشمس الت تصا ال سط الأرض ه المعيار الأوا ف تجميع الطاقة الشمسية، ثم ي ت بعده معيار ميوا سممط الأرض الري يؤثر عل تجهيزاق و تركيب الأجهزة اللازمة لهره المشمممروعاق. أي مما ف ن البعد عن شمبكة توزيع الكهرباء يعد عاملا هاما حيث كلما زادق هره المسمافة كلما زادق كمية الطاقة الم قودة أثناء عملية النقا وأي ما زادق تكل ة نقا الطاقة. أما من الناحية البي ية ف ن البعد من المدن الر يسمية و المطاراق والطرق و الشمواط تعد أي ا عواما هامة ف اختيار أنسب مواقع مشروعاق الطاقة الشمسية. ومن ثم فقد تم اختيار سبعة معايير فنية و اقتصادية الجدوا رقم 1(يجب توافرها ف أنسممب مواقع مشممروعاق الطاقة الشممممسممية بالإ ممافة ال تحديد قيدين لتجنب اقامة هره المش مممروعاق داخا التجمعاق العمرانية أو عل أرا ممم زراعية. أي مما تم تحديد الأوزان النس مممبية لكا معيار من هره المعايير كما هو مو ف العمود الأخير من الجدوا التال. وتكونق خطواق معالجة البياناق شكا رقم 8(من اشتقاق طبقة شبكية لكا معيار من المعايير المحددة تمثا تصنيف قيم المعيار ال ف اق ثم اعادة التصنيف ال درجاق عل مقيار يتراوح من 1 ال 10 لسممممممهولة العرض و التحليا، ثم تطبيق الأوزان المحددة المعادلة رقم 1(للوصمممممموا ال نمورج الملا مة النها . وتعرض الأشكاا أرقام 9، 10، 11 نمارج لطبقاق تصنيف المعايير الت تم استنباطها بالنسبة للبعد عن كلا من المدن الر يسية و شبكة الكهرباء و شبكة الطرق الر يسية.



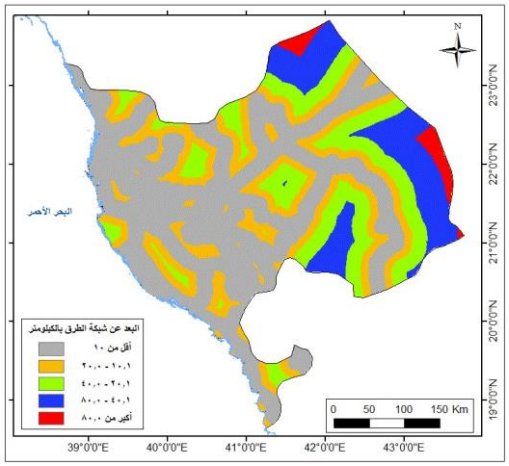
شكل رقم) 8(: منهجية استنباط نموذج الملائمة



شكل رقم) 9(: البعد عن المدن الرئيسية



شكل رقم)10(: البعد عن شبكة الكهرباء



شكل رقم) 11(: البعد عن الطرق الرئيسية

جدول رقم) 1(: معايير أنسب مواقع تجميع الطاقة الشمسية

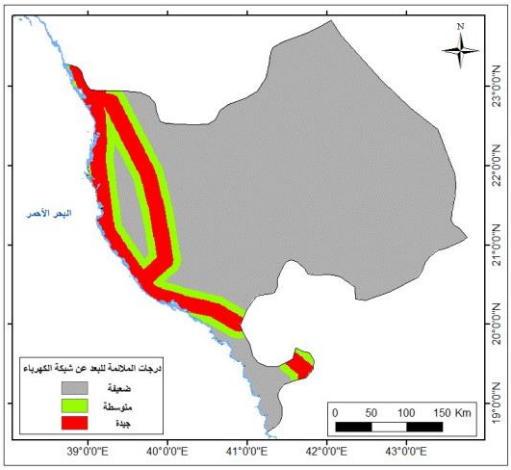
نوع المعيار	المعيار	ال اق	الملا مة	الوزن

تقن	الاشعاع الشمس كيلو واق/متر مربع/يوم(	8 < 8 - 6 6 - 4.5 4.5 >	عالية متوسطة قليلة غير ملا مة	0.30
	ميا سط الأرض درجة(	0 - 3 3 - 5 5 - 10 10 >	عالية متوسطة قليلة غير ملا مة	0.15
	البعد عن شممبكة توزيع الكهرباء كم(	0 - 5 5 - 10 10 - 20 20 >	عالية متوسطة قليلة غير ملا مة	0.15
اقتصادي/بي	البعد عن شبكة الطرق كم(	5 > 5 <	ملا م غير ملا م	0.10
	البعد عن الشواط كم(	5 < 5 >	ملا م غير ملا م	0.10
	البعد عن المدن كم(	5 < 5 >	ملا م غير ملا م	0.10
	البعد عن المطاراق كم(	3 < 3 >	ملا م غير ملا م	0.10
قيود	حدود التجمعاق العمرانية	-	غير ملا م	-
	الأرا الزراعية	-		

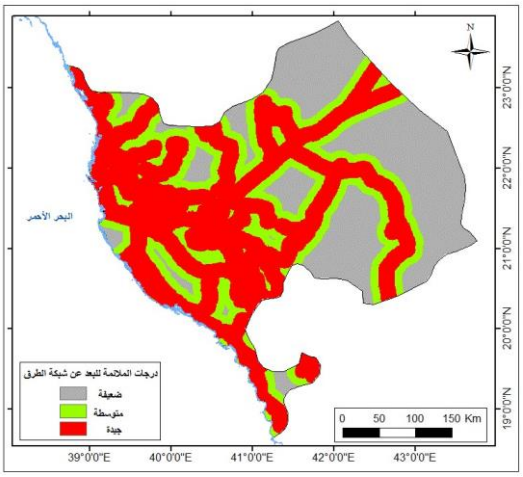
النتائج و المناقشة:

تم تحويا طبقاق قيم كا معيار من المعايير ال طبقاق تمثا مدي الملا مة المكانية لكا معيار من ردا، أي أنه تم التوصممما ال عدة نمارج ملا مة أولية. فعل سممبيا المثاا يعرض الشممكا رقم 12(نمورج الملا مة المكانية لمعيار البعد عن شممبكة توزيع الكهرباء، حيث نلاحم أن المواقع عالية الملا مة ه الت لا تبعد ب كثر من 5 كيلومتراق عن خطوط توزيع هره الشممبكة. ويدا الشممكا أي مما ال أن هره المواقع الملا مة لهرا المعيار تتركز فقط عل الجزء الغرب من منطقة الدراسممة و القريب من س مماحا البحر الأحمر. أما نمورج الملا مة المبد لمعيار البعد عن الطرق الر يس ممية ش ممكا رقم 13(فيمهر مواقع مكانية أكثر حيث أن شبكة الطرق تمتد تقريبا ف كاما أرجاء المنطقة الادارية. أما بالنسبة لميوا سط الأرض فقد أمهر نمورج الملا مة المبد لهرا المعيار شمممممكا رقم 14(أن معمم أنحاء المنطقة الادارية لها درجاق ملا مة جيدة ما عدا الشممريحة الوسممط من المنطقة الت لها ميوا كبيرة و من ثم كانق درجاق الملا مة عندها متوسممطة و أحيانا ممعي ة ف قمم المرت عاق .

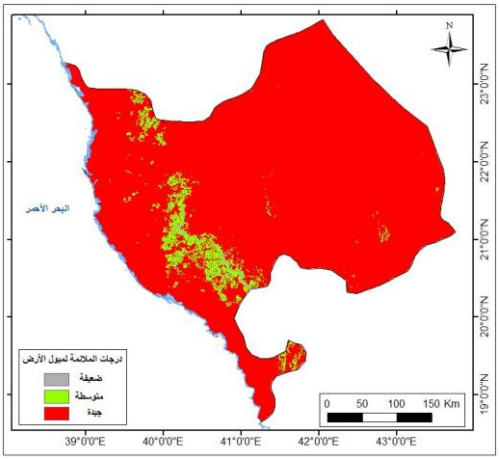
يمثا الشمممممكا رقم 15(أماكن القيود الت لا يجب أن يتم عندها اقامة مشمممممروعاق تجميع الطاقة الشمممممممسممممممية وه حدود التجمعاق العمرانية و الارا ممم الزراعية. ومن ثم فقد تم تطبيق هره القيود أثناء عملية اشممتقاق نمورج الملا مة النها الممثا ف الشكا رقم 16.



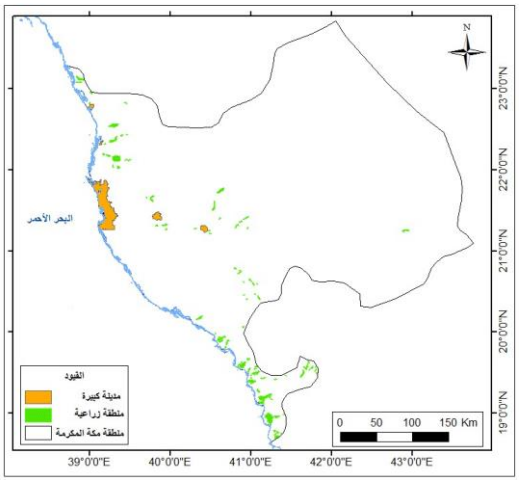
شكل رقم)12(: درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الكهرباء



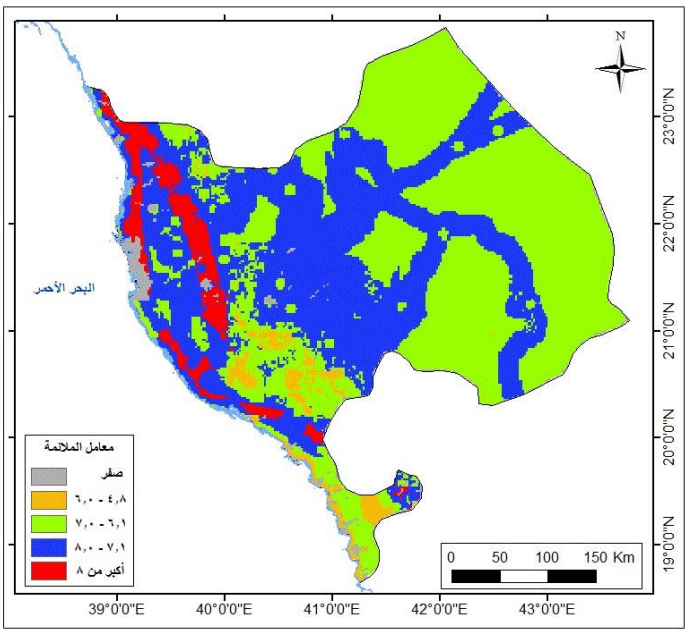
شكل رقم) 13(: درجات الملائمة لمعيار البعد عن شبكة الطرق



شكل رقم)14(: درجات الملائمة لمعيار ميول الأرض

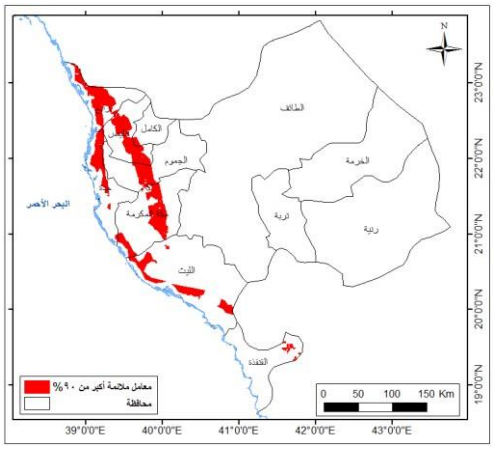


شكل رقم) 15(: القيود المكانية المفروضة علي نموذج الملائمة

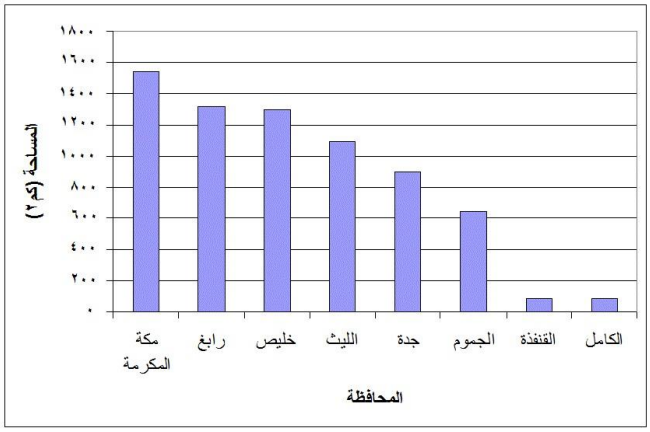


شكل رقم) 16(: نموذج الملائمة النهائي لمواقع حصاد الطاقة الشمسية

تشير نتا ج نمورج الملا مة النها ال أن كا منطقة مكة المكرمة مناسبة لمشروعاق تجميع الطاقة الشمسية بنسب ملا مة تتراوح بين 47% و 97% وبمتوسمممط يبلغ 80%. وهره النتا ج واعدة و مبشمممرة لقطاع الطاقة المتجددة ف منطقة مكة المكرمة ويجب أخرها ف الاعتبار. وبالتحليا الدقيق لهره المواقع المكانية و درجة ملا متها تبين أن الأرا ممم الت تتميز بنسممبة ملا مة أكبر من 90% تبلغ مسمماحتها حوال 7 آلاف كيلومتر مربع بنسممبة 5% من اجمال الارا ممم المناسممبة شكا رقم 17(. ويبين الجدوا رقم 2(والشكا رقم 18(توزيع هره المناطق عالية الملا مة عل محافماق منطقة مكة المكرمة الادارية، حيث ت ت محافمة مكة المكرمة ف المركز الأوا بنسممبة 22% من اجمال مسمماحة هره المناطق تليها محافمت خليص و رابغ بنسممبة 19% لكلا منهما. وعل الجانب افخر ف ن محافماق رنية، تربة، الخرمة، الطا ف لير بها أية مناطق بدرجة ملا مة أكبر من 90%.



شكل رقم)17(: مواقع ذات معامل ملائمة أكبر من 90%



شكل رقم) 18(: احصائيات المواقع ذات معامل ملائمة أكبر من 90%

جدول رقم)2(: توزيع المواقع ذات معامل ملائمة أكبر من 80% علي المحافظات

المحافمة	المساحة كيلومتر مربع(	النسبة الم وية
مكة المكرمة	1540	% 22
خليص	1297	% 19
رابغ	1318	% 19
الليث	1095	% 16
جدة	902	% 13
الجموم	639	% 9
الكاما	85	% 1
القن رة	83	% 1

رنية - تربة - الخرمة - الطا ف	0	0
المجموع	6959	% 100

الخلاصة و التوصيات:

تعد الطاقة قوة أسممماسممية مؤثرة عل كافة مناحى الحياة سممواء الاقتصممادية أو الاجتماعية أو البي ية، ومن ثم ف ن اسممتخدام مصادر الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية أ حق ق ية هامة عل المستوي العالم . ركزق الدراسة الحالية عل تطبيق أسلوب نمم المعلوماق الجغرافية متعددة المعايير ف تحديد أنسب المواقع الملا مة لإقامة مشروعاق تجميع الطاقة الشممسممية ف منطقة مكة المكرمة الادارية .وبناءا عل عدد من المعايير ال نية و الاقتصممادية و البي ية تم بناء مجموعة من قواعد البياناق المكانية لمنطقة الدراسة ثم استخدمق ف استنباط نمورج الملا مة الرقم . وأشارق النتا ج الت تم الحصوا عليها ال أن معمم أنحاء منطقة مكة المكرمة الادارية مناسممممممبة لإقامة مشمممممروعاق تجميع الطاقة الشمممممممسممممممية و ان كانق بدرجاق ملا مة مختل ة تتراوح ما بين 47% و 97% وبمتوسمط يبلغ 80%. وبإجراء تحليلاق مكانية ت صميلية تبين أن هنا ما يقرب من 7 آلاف كيلومتر مربع من أرا ممم المنطقة يبلغ معاما الملا مة فيها أكثر من 90%، حيث ت ت عل محافمة مكة المكرمة ف المركز الأوا بنسبة 22% من اجمال مساحة هره المناطق تليها محافمت خليص و رابغ بنسبة 19% لكلا منهما. وتوصممم الدراسممة بو ممع نمورج الملا مة الري تم تطويره أمام متخري القرار لأخره ف الاعتبار ف الخطط المسممممتقبلية لمشمممروعاق الطاقة الجديدة ف منطقة مكة المكرمة. كما توصممم الدراسممة أي مما بتعميم أسممملوب نمم المعلوماق الجغرافية متعددة المعايير ف كافة خطط التنمية ف قطاع الطاقة ف المملكة العربية السعودية .

المراجع:

المراجع العربية:

إمارة منطقة مكة المكرمة 1433 هـ(المخطط الاقليم لمنطقة مكة المكرمة: ت عيا المخطط الاقليم و الخطة العشرية ،تقرير لإمارة منطقة مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

أطلر مصادر الطاقة المتجددة 1437 هممممم(/http://rratlas.kacare.gov.sa/RRMMPublicPortal ، تاريخ الدخوا: أكتوبر 2016.

الدعدي، ماجدة بنق عبد الله 1435 هممممم(استخدام تقنية الاستشعار عن بعد و نمم المعلوماق الجغرافية لدراسة الحصاد الما لمياه السيوا ف منطقة القصيم، رسالة ماجستير، قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

الرحيل ، عهود بنق عا ض 1431 هممممم(استخدام نمم المعلوماق الجغرافية ف تحديد أنسب مواقع دفن الن اياق بالمدينة المنورة ، رسالة ماجستير، قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.

الزهرانى، رمزى بن أحمد 1412 هممممممم(نمم المعلوماق الجغرافية: مكوناتها و بعض استعمالاتها، سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية رقم 17، معهد البحوث العلمية و احياء التراث الاسممممملام ، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

غرفة الشمرقية 2010(اقتصمادياق الطاقة الشممسمية ف المملكة العربية السمعودية، تقرير لمركز الدراسماق و البحوث بغرفة الشرقية، المنطقة الشرقية، المملكة العربية السعودية.

وزارة المياه و الكهرباء 1431 هممممممممممم(الكهرباء ف المملكة العربية السمممممعودية: نموها و تطورها، تقرير من مركز المعلوماق و الاحصاء بوكالة الوزارة للتخطيط و التطوير، المملكة العربية السعودية .

ممديممنممة المممملممما عممبممد الله لمملمطممماقممة المممرريممة و المممتممجممددة 1437 هممممممممممممم(المطممماقممة المممتممجممددة ، https://www.kacare.gov.sa/ar/futureenergy/renewableenergy/ ، تاريخ الدخوا: أكتوبر 2016.

مصلحة الاحصاءاق العامة و المعلوماق 1437 هممممممم(تقديراق السكان للمناطق الادارية و المحافماق خلا ال ترة من

2010 ال 2025، http://www.cdsi.gov.sa/socandpub/resd ، تاريخ الدخوا: أكتوبر 2016.

هي ة تطوير مكة المكرمة و المشممممماعر المقدسمممممة 1427 هممممممممممم(المخطط الاقليم لمنطقة مكة المكرمة، الجزء الثان : المعلوماق الأساسية و الأو اع 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 Lavalle, 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 Tuscia 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-.654

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-.42

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-.756

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.

Matejicek, 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-.2631

Tlili, I. (2015) Renewable energy in Saudi Arabia: current status and future potentials, Environ Dev Sustain, No. 17, pp. 859–.688

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-.13

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-.961