مجلة جامعة الملك عبد العزيز: علوم تصاميم البيئة، م ١٧، ص ص: ١١٣-١٤٦ (٢٠٢٥م)
DOI: 10.4197 / Env.16-2.7

خريطة التوقيع المكاني لمواقع محطات خدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة بإمارة منطقة مكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

خيرية علي حسن الشهابي

قسم العلوم الفيزيائية، برنامج نظم المعلومات الجغرافية، كلية العلوم، جامعة جدة، المملكة العربية السعودية

kaalshihabi@uj.edu.sa

المستخلص: تهدف الدراسة إلى انتاج خريطة محكمة للتوقيع المكاني لمواقع محطات خدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة في غرب المملكة العربية السعودية. استخدمت الدراسة تقنيات منها نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وعملية التسلسل الهرمي التحليلي لمجموعة شاملة من المعايير التي تشمل العوامل المناخية، والطبوغرافية، والبيئية، والاقتصادية. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي والمنهج التحليل المكاني لمعالجة بيانات الدراسة. تشير النتائج إلى أن المعدل العام لقيم الإشعاع الشمسي الكلي الواصل لسطح الأرض في محافظة القنفذة من عام ١٩٨٤ إلى٢٠٢٢م قد اتخذ اتجاهاً نحو التناقص. وأظهرت الدراسة أن سطح الأرض بالمحافظة يتدرج انحداراً من الشرق إلى الغرب على ساحل البحر الأحمر، وكشفت الدراسة أن أكثر العوامل تأثيراً في اختيار المواقع الملائمة لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية الإشعاع الشمسي، وانحدار سطح الأرض، ثم ارتفاع سطح الأرض، واتجاه انحدار سطح الأرض. أما بقية العوامل فتأثيرها منخفض. وتبين أن ما نسبته ٢,٧٢% من إجمالي مساحة المحافظة تعتبر مواقع ملائمة لإقامة محطات لخدمات الطاقة حيث تضم المنطقة ١٤٠,١٣٧٤ كيلومتر مربع وقادرة على توليد أكبر كمية من الطاقة الشمسية وخاصة في مركز ثلاثاء الخرم، ومركز سبت الجارة الواقعة شرق محافظة القنفذة، وتوصي الدراسة بتقديم نموذج الملاءمة الذي تم تطويره لمحافظة القنفذة أمام متخذي القرار لأخذه في الاعتبار في إعداد الخطط المستقبلية لخدمات الطاقة المتجددة في محافظة القنفذة. العمل على تحسين المعايير الاقتصادية من شبكة الطرق والشبكة الكهربائية في جنوب محافظة القنفذة للاستفادة من المساحات الكبيرة بها في اقتراح مواقع أخرى لإنشاء خدمات توليد الطاقة الشمسية. نشر الوعي بالمجتمع المحلي بالاعتماد على استخدام الطاقة الشمسية المنزلية. وتشجيع أصحاب الأراضي الزراعية بالاعتماد على انتاج طاقة كهربائية من الطاقة الشمسية.

الكلمات المفتاحية: التوقيع المكاني، محطات خدمات الطاقة الشمسية، التحليل الهرمي، نظم المعلومات الجغرافية.

١- المقدمة

تعد الكهرباء واحدة أهم أسباب التطور والنمو السريع في جميع مجالات الحياة، فهي ضرورية لتحقيق احتياجات الإنسان في العمل كافة المرافق، في المكتب والمصنع والمزرعة والمؤسسة وكافة المرافق، وفي المنزل، ونتج عن تفاقم الطلب على الكهرباء السعي للحصول عليها من مصادر أخرى أرخص وأكثر محافظة على البيئة. وتشير نتائج الدراسات السابقة إلى توقع نمو معدلات الطلب العالمي على الطاقة بما يقارب الـ١,٢% حتى عام ٢٠٣٥م، وأنه من المتوقع أيضاً استمرار نمو الطلب على قطاع الكهرباء، مما يتطلب ضرورة البحث عن بدائل للطاقة التقليدية لتوفير الكهرباء والماء والخدمات الأساسية للمنطقة التي يتوقع أن تشهد معدلات نمو سكاني كبير في السنوات القادمة. وعلى الرغم من ارتفاع تكلفة الاستثمار في أنواع الطاقة البديلة والطاقة المتجددة، إلا أن ما يقارب ١٤٨ دولة متضمنة المملكة العربية السعودية تخطط للاستثمار في الطاقات المتجددة والحصول على طاقة نظيفة مستدامة، حيث عملت على وضع السياسات اللازمة لتطوير وتشجيع الاستثمار، والمحرك الرئيس لذلك الطلب المحلي على الكهرباء بالمملكة العربية السعودية هو أن الطاقة تعد المستهلك الأكبر ونستحوذ على معدل ٣٩% من إجمالي الطلب المحلي على الطاقة في المملكة (غرفة الرياض، ٢٠٢١م، ص٧).

يمثل نظام الكهرباء في المملكة العربية السعودية الأكبر في منطقة الخليج والعالم العربي؛ حيث بلغ ٦١,٧ قيقا واط، خلال ذروة الطلب، و٨٩,٢ قيقا واط من الطاقة المتاحة في عام ٢٠١٨م. وقد نمت بسرعة خلال أكثر من ٢٠ عام، وبسبب زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية في المملكة على مر السنين، من المتوقع أن تستمر في الزيادة مع النمو الحضري والاقتصادي السريع. وبالنظر إلى أن محطات الطاقة الكهربائية في المملكة تعتمد في المقام الأول على الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة الكهربائية، فإن هذا ادي إلى زيادة الانبعاثات الكربونية مما أدى إلى مشاكل بيئية حادة، وجاء في دراسة الحاجي وآخرين أن انبعاثات الغازات الكربونية الناتجة عن قطاع الكهرباء متذبذبة بالزيادة والنقصان في الأعوام ٢٠١٦-٢٠٢٠م، حيث بلغت حوالي ٥٢٧ و٥٣٠ مليون طن متري. ووفقاً لتقارير وكالة الطاقة الدولية IEA زادت الانبعاثات الكربونية بقطاع الطاقة بنسبة ٥% من عام ١٩٩٦ إلى ٢٠١٨م؛ ولذلك اتخذت المملكة تدابير للحد منها من خلال التصديق على اتفاقية باريس المناخية عام ٢٠١٥م، ومتزامنة في نفس الوقت مع تحقيق رؤيةً ٢٠٣٠ بوضع خطة طموحة لحماية البيئة (الحاجي وآخرون،٢٠٢١م، ص٣).

رفعت المملكة العربية السعودية سقف اهتماماتها لحماية البيئة في إطار رؤية المملكة ٢٠٣٠ من خلال تنويع مصادر الطاقة لتواكب الطلب المحل والعالمي المتزايد بوضع حلول للطاقة المبتكرة والمتجددة للإسهام في تحقيق تنمية مستدامة. وقد شهد مؤشر إسهام الطاقة المتجددة في انتاج الكهرباء في المملكة ارتفاعاً من ٠,٩%

لعام ٢٠٢٢م إلى ٣,٠٦% خلال عام ٢٠٢٣م بنمو متزايد إلى ثلاثة أضعاف، وقد أنتجت ٢,٨ قيقا واط من الطاقة المتجددة ربطت بشبكة الكهرباء الوطنية، وتكفي لتزويد ٥٢٠ ألف منزل بالكهرباء (رؤية المملكة ٢٠٣٠، ٢٠٢٣، ص١٢١).

وكما هو معروف فإن المملكة لديها القدرة على استغلال الطاقة الشمسية المركزية (CSP) والطاقة الشمسية الضوئية PV، فقد حققت المملكة المركز السادس عالمياً في إمكانية انتاج الطاقة الشمسية (غرفة الرياض، ٢٠٢١م، ص٣٠)، فبذلك تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن استغلالها في المملكة ولأغراض كثيرة، وتشكل مصدراً مجانياً لا ينفد، حيث إن المملكة تتمتع بموقع جغرافي استراتيجي ضمن الحزام الشمسي الذي ينحصر بين دائرتي عرض ٤٠ْ شمالاً و٤٠ْ جنوباً، ويقدر متوسط الإشعاع الشمسي الساقط على أراضيها بحوالي ٢٢٠٠ كيلو واط ساعة/ متر، ويقدر متوسط وفرة الإشعاع الشمسي على المملكة بمقدار ٨,٦٩ ساعة/اليوم (عكاشة،٢٠٣٢م،ص٢٧). وتوسعت المملكة في إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية حيث إنها وفرت محطات حيث اكتمل التشغيل النهائي لثلاث مشاريع في مدينة سدير ومدينة جدة ومدينة رابغ بسعة إجمالية تبلغ ٢,١ قيقا واط وهذا دلالة على تبني المملكة لمنهج الاستدامة وصولاً إلى الحياد الصفري في عام ٢٠٦٠م (رؤية المملكة ٢٠٣٠، ٢٠٢٣ ص١٢٢).

ارتفعت النسبة المئوية لمتوسط الإشعاع الأفقي الكلي GHI الساقط في المنطقة الغربية من المملكة العربية السعودية بصورة واضحة للفترة ٢٠١٦ إلى ٢٠١٨م من شهر مارس إلى شهر أغسطس بلغت ١٩,٨٣% و١٩,٨٦% و٢٠,٣٤% على التوالي، وهذا يضعها في المرتبة الثانية بعد المنطقة الشمالية في المملكة لعام ٢٠١٨م وهي بذلك تعد من أهم مؤشرات الطاقة الشمسية بالمملكة العربية السعودية، أما فيما يتعلق بالمعدل النسبي لعدد المساكن التي تستخدم الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية من عام ٢٠١٧ إلى ٢٠١٨م فقد بلغ ١,١٨% و١,٥٠% على التوالي من إجمالي المساكن المستخدمة للطاقة الشمسية في المملكة، حيث احتلت المرتبة السادسة لعام ٢٠١٨م بعد كل من منطقة حائل الإدارية والمنطقة الشرقية ومنطقة نجران والرياض والحدود الشمالية (غرفة الرياض، ٢٠٢١م، ص٧). وعلى مستوى المملكة العربية السعودية لعام ٢٠٢٢م بلغ المتوسط اليومي للإشعاع الأفقي الكلي GHI ٥,٦٥١ واط ساعة/م٢، كما بلغ المتوسط اليومي للإشعاع العمودي المباشر (DNI) ٥,٣٧٥ واط ساعة/م٢ يومياً، كما بلغ المتوسط اليومي للإشعاع الأفقي المنتشر (DHI)٢,١٨١ واط ساعة/م٢ يومياً (الهيئة العامة للإحصاء،٢٠٢٢م).

بناء على ما ورد في السياق تسعى الدراسة إلى توضيح العوامل الطبيعية والبشرية بمحافظة القنفذة التابعة إدارياً لمنطقة مكة المكرمة التي تسهم في تحديد المواقع الملائمة لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية بالمحافظة. وتنبع أهمية هذه الدراسة في أنها وسيلة مهمة للتعرف على مقومات المنطقة. كما أنها تساعد على تحديد البنية والتركيب الاقتصادي للمراكز الإدارية بالمحافظة للوصول إلى توزيع عادل لمحطات خدمات الطاقة

الشمسية بالمحافظة لخدمة أكبر عدد من المستهلكين للطاقة الكهربائية. وتنبع كذلك الأهمية في أن محافظة القنفذة تتمتع بمساحات شاسعة يمكن استغلالها للاستثمار الزراعي والخدمي والصناعي، وأن الغالب عليها وقوعها بعيدة عن خطوط الشبكة الكهربائية فلا بد من توفير مصدر للطاقة المستديمة لتلبية الاحتياجات التنموية. اضافة الى عدم وجود دراسة واحدة تناولت موضوع إنتاج الكهرباء من محطات الطاقة الشمسية بمحافظة القنفذة. كذلك ساهم في أهمية هذا الموضوع توافقه مع رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠ في مصادر الطاقة المتجددة. كما تفيد الدراسة في إثراء المكتبة الجغرافية لاعتمادها على بيانات حديثة. ويؤمل أن تساعد الدراسة الحالية الجهات ذات العلاقة من شركات الطاقة والمستثمرين في اتخاذ القرارات نحو تحقيق إمكانات الطاقة المتجددة في محافظة القنفذة.

١-١ مشكلة الدراسة

تنحصر مشكلة الدراسة أو موضوعها في السعي لتحديد المواقع الملائمة لمحطات خدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة والاستفادة منها طاقة متجددة مساندة للطاقة التقليدية أو حتى بديلاً لها، خاصة لميزتها في إمداد المجموعات القروية المتفرقة بالمحافظة بالكهرباء في ظل صعوبة ربطها بالشبكة الرئيسية للكهرباء. وتسعى للاستفادة من استخدام التكنولوجية المتقنة لنظم المعلومة الجغرافية في تحديد المواقع الأمثل للمحطات المطلوبة. وتعاني محافظة القنفذة من عدم توفر مصادر الطاقة الكهربائية الكافية لتلبية احتياجات السكان، وبسبب ازدياد الطلب على الكهرباء نتيجة لتزايد أعداد السكان، إضافة إلى أن الطلب مستمر على الطاقة الكهربائية بالمنطقة الغربية بالمملكة العربية السعودية على الرغم من أن نسبة عدد المحطات التي تولد الطاقة الكهربائية بالمنطقة الغربية مثلت ما نسبته ٣٣% من إجمالي المحطات الكهربائية بالمملكة في عام ٢٠١٩م (الحاجي وآخرون،٢٠٢١م، ص ١٢)، إضافة إلى أنه خلال عام ٢٠٢٢م تم تنفيذ ٢٨% من إجمالي طلب إيصال الكهرباء في المنطقة بالنسبة لإجمالي الطلب في مناطق المملكة، وبلغ عدد المشتركين للطاقة الكهربائية خلال العام ٤٥ الف مشترك (هيئة تنظيم الماء والكهرباء،٢٠٢٢م، ص١٠١)، إضافة إلى تطور الأجهزة الكهربائية وتعددها، في ظل ثبات كميات الكهرباء التي تصل لبعض القرى، وكذلك تأخر وصول الكهرباء ببعض قرى المحافظة خلاف بعض المراكز والقرى الأخرى، إضافة إلى انقطاع الكهرباء ولعدة ساعات أحياناً (الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤م) مما سبب في نقص الكهرباء والحاجة إلى مصدر طاقة بديل، على الرغم من وجود محطات للطاقة الشمسية في جدة ورابغ والشعيبة وبناء على بيانات وزارة الطاقة لعدد المنازل المتوقعة لتزويدها بالطاقة الكهربائية في المنطقة الغربية تمثل ما نسبته ٦,٤١%، ٦,١٦%، ١١,٩١% على التوالي من إجمالي المنازل المتوقع تغطيتها علي مستوى محطات الطاقة الشمسية في المملكة (الزهراني وآخرون،٢٠٢٢م، ص١٣) وعليه فإن هذه المحطات لا تكفي لتشغيل كافة المنازل بالمنطقة، إضافة إلى ذلك قد بلغ عدد الشكاوي المقدمة من المنطقة الغربية بالمملكة لعام ٢٠٢٢م لعدم توصيل الخدمة الكهربائية ٦٣٦ شكوى، أما عدد الشكاوي الخاصة بفواتير الكهرباء فبلغت ٩٧٨ شكوى، بخصوص انقطاع الخدمة ٧٩٨ شكوى بالمنطقة الغربية، وهو يعتبر أكبر عدد للمقدمين على الشكوى

لانقطاع الخدمة في مناطق المملكة، بخصوص شكوى إزاحة أعمدة نقل الكهرباء فبلغ عدد الشكاوي ٨٥ شكوى على مستوي المنطقة (هيئة تنظيم الماء والكهرباء،٢٠٢٢م، ص١٠١). فمن خلال ذلك تمحورت مشكلة الدراسة في التساؤلات التالية:

- ما ضرورة إنشاء محطات لخدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة؟
- ما هي العوامل الجغرافية المساعدة في تحديد المواقع الملائمة لمحطات خدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة؟
- ما مدى إسهام تكنولوجيا نظم المعلومات الجغرافية في تحديد المواقع الملائمة لمحطات خدمات الطاقة الشمسية؟

١-٢ *أهداف الدراسة*

- التعرف على العوامل الجغرافية المساعدة في تحديد المواقع الملائمة لمحطات خدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة.
- تحديد المواقع المقترحة لإنشاء محطات طاقة شمسية.
- إبراز مدي أهمية استخدام تكنولوجية نظم المعلومة الجغرافية في دراسة تقنيات استخدام الطاقة المتجددة.

٢- مراجعة الأدبيات

٢-١ *مصطلحات الدراسة*

- **الطاقة المتجددة Renewable energy**: تعرف الطاقة المتجددة بشكل عام بأنها الطاقة المسمدة من المصادر التي يمكن أن تعيد الطبيعة توليدها بشكل مستمر مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والمياه والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية. وتتميز الطاقة المتجددة عن الطاقة الأحفورية (النفط، الغاز الطبيعي، الفحم) بأنها مصادر طبيعية ومتجددة باستمرار كما أنها طاقة نظيفة وصديقة للبيئة حيث إن إنتاجها لا يتسبب في التلوث البيئي (غرفة الرياض،٢٠٢١م، ص٤).
- **الطاقة الشمسية Solar Energy:** تعرف بأنها إحدى المصادر الطبيعية للطاقة على الأرض والتي يتم الحصول عليها عن طريق امتصاص الألواح الشمسية لأشعة الشمس، تستخدم لتوليد الكهرباء والخدمات الأساسية للحياة عن طريق التقاط الألواح الشمسية لأشعة الشمس خلال النهار وتحويلها إلى طاقة حرارية. (غرفة الرياض،٢٠٢١م، ص١٤).

- **الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي Radiation Solar (GHI) Global:** هي عبارة عن المجموع الكلي لكمية الأشعة الشمسية الساقطة من السماء على سطح الأرض مثبتة افقياً (غرفة الرياض،٢٠٢١م، ص١٤). وتتضمن الإشعاع الشمسي الأفقي المباشر (DNI) والإشعاع الشمسي الأفقي المشتت (DHI).
- **الإشعاع الشمسي الأفقي المباشر Radiation Solar Direct (DNI):** هو الإشعاع الشمسي الساقط مباشرة على وحدة المساحة التي تواجه الشمس مباشرة في جميع الأوقات.
- **الإشعاع الشمسي الأفقي المشتت Radiation Solar Diffuse DHI:** يمثل الإشعاع الشمسي الساقط على وحده مساحية المثبتة أفقياً بشكل غير مباشر من الشمس، أي الإشعاع الشمسي المنكسر والمبعثر من الغيوم أو الاجسام المحيطة (صبرينة وآخرون، ٢٠٢١م، ص ٤٦).
- **الطاقة الكهربائية Electrical Energy:** هي أكثر أشكال الطاقة استخداماً وشيوعاً، وتعمل على تلبية وإشباع الحاجات، وتنتج من مصادر أولية بعد تحويلها إلى جسيمات صغيرة تسمى الإلكترونيات، ويكوّن تدفقها التيار الكهربائي (سعدي وآخرون،٢٠٢٣م، ص٢٩٦).

٢-٢ *الدراسات السابقة*

- تناولت دراسة جاستليا،٢٠١٠م (Gastlia, 2010) أفاق الطاقة الشمسية في سلطنة عمان، إضافة إلى دراسة الوضع الجغرافي والطبوغرافي للسلطنة. وناقشت الدراسة منهجية إنتاج خرائط الإشعاع الشمسي باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية.
- تناولت دراسة ميروني،٢٠١٤م (Merrouni, 2014) إمكانية تحديد أنسب المواقع لتركيب محطات لتوليد الطاقة الشمسية المركزة في المنطقة الشرقية من دولة المغرب التي تعد أكثر المناطق المستهدفة من قبل المستثمرين في مجال الطاقة الشمسية باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية. وناقشت الدراسة وضع محطات الطاقة الشمسية الموجودة بالمنطقة، وكيفية الاستفادة قدر الإمكان من الموارد الشمسية بها.
- تناولت دراسة داوود وآخرون، ٢٠١٧م تطبيق نظم المعلومات الجغرافية لتحديد أنسب المواقع المكانية لتجمع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية اعتماداً على مجموعة معايير جغرافية وفنية وبيئية واقتصادية للحصول على نموذج ملاءمة يوضح أفضل المواقع لإنشاء محطات للطاقة الشمسية، واعتمدت الدراسة على تحديد المعايير طبقاً للمواصفات العالمية، وتناولت الدراسة إنشاء قاعدة بيانات جغرافية رقمية لهذه الاشتراطات ودمجها في نظام المعلومات الجغرافي للحصول على نموذج الملاءمة المكاني المطلوب.
- تناولت دراسة الزعبي، ٢٠٢٠م تطبيق نظم المعلومات الجغرافية لتحديد أنسب المواقع المكانية لتجميع الطاقة الشمسية في محافظة البلقاء، واعتمدت على شروط جغرافية وفنية وبيئية واقتصادية للحصول على

نموذج رقمي لمحطات الطاقة الشمسية، واعتمدت الدراسة على إنشاء قاعدة بيانات رقمية للاشتراطات ودمجها في تقنية نظم المعلومات الجغرافية، إضافة إلى دراسة التوزيع المكاني للأراضي الملائمة لمشروعات حصاد الطاقة الشمسية بالمحافظة.

- وتناولت دراسة النعيمات وآخرين،٢٠٢٢م تحديد مواقع مشاريع الطاقة الشمسية بمحافظة معان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وتجمع الدراسة بين النظرية والتطبيق. وحددت العوامل المؤثرة في توزيع الإشعاع الشمسي في المحافظة واعتمدت على ٦ معايير لتحديد الموقع المناسب لمحطات الطاقة الشمسية في المحافظة.

- تناولت دراسة سفاريانزنجير، ٢٠٢٢م (Safarianzengir, 2022) تقويم مواقع لإنشاء محطات طاقة حرارية شمسية مستدامة في شمال غرب إيران من خلال تطبيق ٨ معايير مناخية وبيئية، وتمت دراسة البيانات المناخية من ٢٢ محطة لمنطقة الدراسة خلال ٣١ سنة من عام ١٩٩٠ –٢٠٢٠م. واستخدمت الدراسة برنامج نظم المعلومات الجغرافية للتوصل إلى الموقع المناسب لإنشاء محطات الطاقة الشمسية الحرارية المستدامة في منطقة دراسته.

- وتناولت دراسة السيد وآخرين،٢٠٢٣م دراسة الإمكانيات المحتملة لتوطن محطات الطاقة الشمسية في محافظة ألمينا، وإنشاء خريطة رقمية توضح درجات الملاءمة المكانية لمواقع المحطات، واستخدمت نهجاً تطبيقياً اعتمد على أسلوب اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. وطبق فيها ١٨ معياراً في بناء النموذج تم استقاؤها من الدراسات السابقة لها، ومن خبراء الطاقة في حقل البحث. وتم فيها تطبيق تقنية التركيب الخطي الموزون في بيئة نظم المعلومات الجغرافية للحصول على خريطة الملاءمة النهائية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في المحافظة.

- وتناولت دراسة مجد وآخرين ،٢٠٢٣م تطبيق أسلوب الملاءمة المكانية والقرار متعدد المعايير للحصول على نموذج ملاءمة رقمي يوضح أفضل المواقع لإنشاء محطات الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح في محافظة البحر الأحمر. واعتمدت الدراسة على تحديد أوزان للمعايير باستخدام التحليل الهرمي، وتم بناء نموذج للحصول على خريطة الملاءمة المكانية لمواقع المحطات بالمحافظة.

- تناولت دراسة إسلام،٢٠٢٤م (Islam, 2024) اختيار المواقع المثلى في دولة بنجلادش لتركيب محطة الطاقة الشمسية باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) لتحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) في بيئة نظام المعلومات بالاعتماد على البيانات الجغرافية والبيئية والمناخية للمنطقة. وناقشت الدراسة تحديد مكان الاستثمار الأفضل في الطاقة الشمسية فيها.

٣- منهجية البحث

لتحقيق أهداف الدراسة الحالية تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي لوصف العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة في اختيار المواقع الملائم لمحطات خدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة، وتحليل بيانات الدراسة. إضافة إلى استخدام المنهج التحليلي المكاني لدراسة العلاقة بين الخصائص الجغرافية الطبيعية والبشرية وللتعرف على الإمكانيات المتوفرة بالمحافظة لإقامة المحطات، وعلى مدى الاستفادة منها، وكذلك استخدم برنامج نظم المعلومات الجغرافية لتحليل البيانات الخاصة بتحديد المواقع الملائمة لإقامة المحطات.

٣-١ أدوات البحث

تم الاعتماد على نوعين من مصادر البيانات: النوع الأول المصادر الأولية متمثلة في الزيارات الميدانية للباحثة لمنطقة الدراسة لعام ٢٠٢٤م خلال أشهر يونيو ويوليو وأغسطس إذ مكنت من متابعة الظاهرة المدروسة ورصد التغيرات التي حدثت لها، ومن أخذ البيانات من الأشخاص الذين لديهم معرفة تامة بالظاهرة محل الدراسة، وبذا تعد من أهم المصادر للدراسة، وقد أسهمت في إكمال البيانات التي لم تفِ بها التقارير والمطبوعات الخاصة بموضوع الدراسة من قبل الجهات المتعددة. اما النوع الثاني فتمثل بالمصادر الثانوية متمثلة في البيانات الإحصائية بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للإرصاد، والهيئة العامة للإحصاء، بأمانة محافظة جدة، ووزارة البيئة والمياه والزراعة، ووزارة الطاقة، والهيئة السعودية لتنظيم الكهرباء، وتم الاعتماد على خريطة الأساس الرقمية لمحافظة القنفذة الصادرة عن أمانة محافظة جدة لعام ٢٠٢٤م والخريطة الرقمية لبلديات محافظة القنفذة الصادرة عن أمانة محافظة جدة لعام ٢٠٢٤م، وخريطة الطرق والشوارع الرئيسة الرقمية لمحافظة القنفذة الصادرة عن أمانة محافظة جدة لعام ٢٠٢٤م، ومرئية فضائية Also Palsar (بدقة ١٢,٥م) من موقع: https://search.asf.alaska.edu لعام ٢٠٢٤م. أما البيانات المناخية فقد تم الاعتماد فيها على بيانات وكالة ناسا لموارد الطاقة العالمية https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer.

تم تمثيل وتحليل بيانات الدراسة باستخدام الأسلوب الكمي لمعالجة البيانات إحصائيّاً، ومن الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة طريقة التحليل الهرمي Analytic Hierarchy Process (AHP) وهي إحدى الأساليب والأدوات المستخدمة في تقييم القرار متعدد المعايير. وتم الاعتماد على أسلوب التحليل المكاني في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، لتطبيقه على العوامل الطبيعية والبشرية في محافظة القنفذة وذلك بتطبيق نموذج متعدد المعايير لبناء نموذج تنبؤ يعمل على محاكاة الواقع الحالي باستحداث مواقع جديدة لمحطات خدمات الطاقة الشمسية وفق مؤشرات متعددة وتم اعتماد معايير الأوزان وفق أسلوب التحليل الهرمي AHP.

٤- منطقة الدراسة

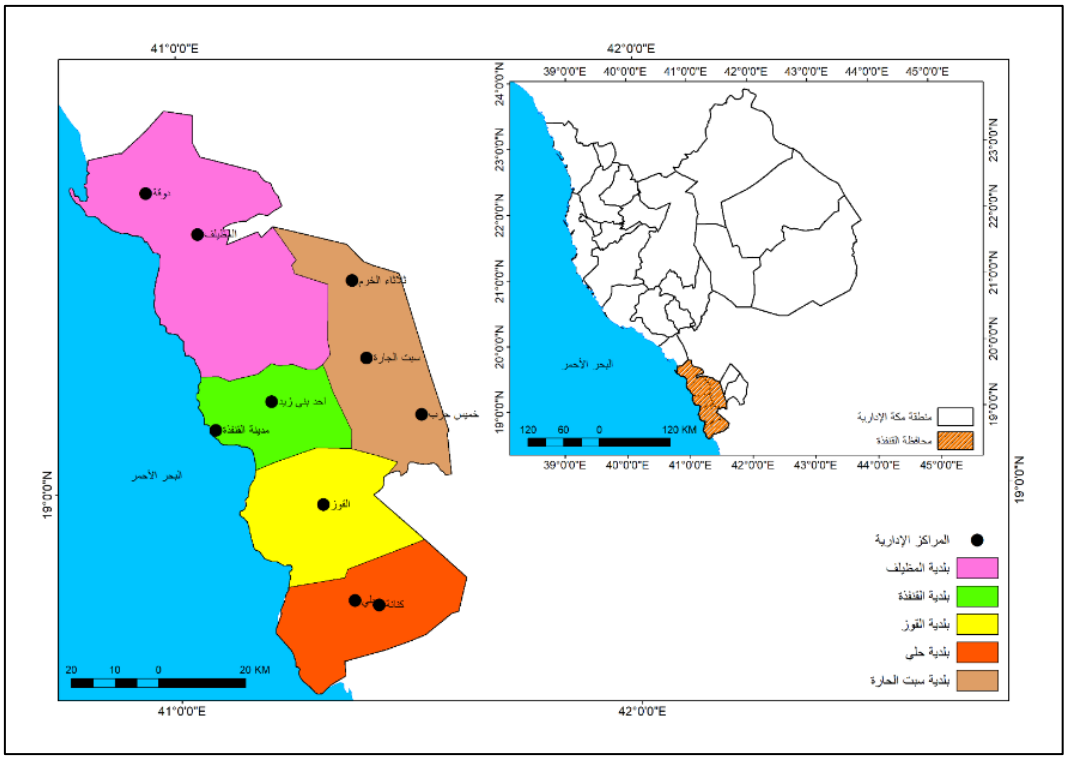
تقع محافظة القنفذة في جنوب غرب المملكة العربية السعودية، في الجزء الجنوبي من منطقة مكة المكرمة، تحدها من الجانب الشرقي محافظة العرضيات ومحافظة الباحة، ومن الجنوب منطقة عسير، ومن الشمال محافظة

الليث. ويحدها من جهة الغرب ساحل البحر الأحمر؛ حيث تمتد عليه مسافة ١٦٥ كم. وتقع محافظة القنفذة عند نقطة تقاطع خط طول ٤١,٥ْ شرقًا ودائرة عرض١٩,٨ْ شمالاً. ويشكل موقع محافظة القنفذة قبل التوسع الحالي شكل مثلث قاعدته على ساحل البحر الأحمر، أما راسه فيقع على مفرق وادي هارون المتفرع من وادي قنونا. (أبا الخيل،٢٠٢٢م، ص٩).

تتبع محافظة القنفذة إدارياً منطقة مكة المكرمة وتعد محافظة من فئة (أ)، وهي إحدى أكبر محافظات منطقة مكة المكرمة، حيث تقدر مساحتها بحوالي ٣٧٢ ألف كم، وتشغل نحو ٣,٦٥% من مساحة المنطقة وتأتي في المرتبة التاسعة بين محافظات المنطقة من حيث المساحة. وتمتاز مساحة المحافظة باتساعها مما يكسبها أهمية من حيث توفر الموارد وتنوعها وزيادة الإمكانيات والفرص الاقتصادية؛ وساعدها على ذلك أنها تبعد عن إمارة منطقة مكة المكرمة ٣٦٠ كم جنوباً، وتبعد عن مدينة جدة ٣٣٤ كم تقريباً، مما جعلها تعد بمثابة بوابة للمناطق الجنوبية والمحافظات في المناطق الغربية من المملكة العربية السعودية. ويبلغ عدد سكانها حوالي ٢٧٥ ألف نسمة (https://makkah.gov.sa) يمثلون نحو ٢,٨% من سكان المنطقة، حيث تأتي في المرتبة الرابعة على مستوى المنطقة بعد محافظة الطائف من حيث عدد السكان عام ٢٠١٠م. وبلغ عدد المساكن في المحافظة ٣٨٨٧٦ مسكن (الهيئة العامة للإحصاء،٢٠١٧، ص٢٤).

يبلغ عدد المراكز الإدارية ١٠ مراكز منها ٩ مراكز من فئة (أ) شملت دوقة والمظيلف وحلي والقوز وسبت الجارة وثلاثاء الخرم وأحد بني زيد وكنانة خميس حرب والرايم؛ أما فئة (ب) فشملت خميس حرب وحده (المركز الوطني للوثائق والمحفوظات، https:// ncar.gov.sa). (انظر الشكل رقم ١).

تعد منطقة الدراسة جزءاً من المنطقة الجنوبية الغربية من الدرع العربي على الساحل الشرقي للبحر الأحمر. وتشغل غالبية المنطقة صخور الجرانيت والحجر الرملي والكونجلومريت والصخور المتحولة والبيوتيت والهورنبلند(هيئة المساحة الجيولوجية،٢٠٢٠م، ص ٧٠)؛ إضافة إلى الصخور البازلتية التي تركزت في الأجزاء الوسطى والغربية من المنطقة مغطاة بالرواسب الساحلية ورواسب الوديان تتكون من الرمال والحصى والطمي. ومن الناحية الطبوغرافية يهيمن على الجزء الشرقي جرف البحر الأحمر الذي يتجه نحو الشمال الغربي، ويبلغ اقصى ارتفاع له حوالي١٠٠٠م وينخفض بشكل حاد إلى الغرب. وتتميز المنطقة الواقعة أسفل الجرف وجنوبه بجبال وتلال صغيرة يتراوح ارتفاعها بين١٠٠ و٣٠٠ متر، وسهل ساحلي مسطح نسبياً بعرض ٢٥كم إلى ٤٠كم، تتخلله أراض منخفضة، يمتد من المنطقة الجبلية جنوب غرب البحر الأحمر. ويتكون معظم السهل الساحلي من طبقات رسوبية ورواسب قابلة للتفتيت، وينحدر بشكل عام باتجاه الغرب إلى البحر الأحمر (Sulaiman et al., 2018) وتشغل سلسلة جبال السروات الواجهة الشرقية للمنطقة بتكوينات بركانية وصخور بلوتونية قديمة.



شكل ١. موقع منطقة الدراسة.

المصدر: من إعداد الباحثة اعتماداً على خريطة أمانة محافظة جدة،٢٠٢٤م

ومن حيث المناخ تقع المحافظة تحت تأثير المرتفع الجوي المداري شبه الجاف ويتميز بصيف حار وشتاء بارد. وفي خلال الفترة من عام ١٩٨٤ إلى ٢٠٢٢م، بلغ المدى الحراري على مستوى المحافظة ٢٦ْ م، وبالنظر الى المتوسط السنوي لدرجة الحرارة العظمى بلغ ٣٩,٧ْ م. في حين ان شهري يونيو ويوليو هما أكثر الشهور حرارة، وسجلت المحافظة متوسط سنوي لدرجة الحرارة الصغرى بلغت ١٣,٦ْ م، في حين أن شهري يناير وفبراير هما أبرد أشهر الشتاء (انظر جدول (١) وشكلي (٢، ٣)). أظهرت نتائج البيانات الإحصائية اتجاهات ملحوظة في التغير في درجات الحرارة السنوية العظمى والصغرى، واثبت ذلك ما أظهرته المنحنيات خلال ٣٩ سنة اتجاه واضحاً للزيادة متواصلاً في المعدل السنوي لدرجة الحرارة العظمى والصغرى بمنطقة الدراسة.

جدول ١. المعدل السنوي لدرجة الحرارة بمحافظة القنفذة من عام (١٩٨٤م – ٢٠٢٢م).

السنة (م)	المعدل السنوي	
	درجة الحرارة العظمى	درجة الحرارة الصغرى
١٩٨٤	٣٨,٤٤	١٥,٢٣
١٩٨٥	٣٨,٤٢	١٣,٣٦
١٩٨٦	٣٨,١٠	١٣,٢٣
١٩٨٧	٣٨,٧٢	١٢,٩١
١٩٨٨	٣٩,٣٧	١٤,٥١
١٩٨٩	٣٩,٧٠	١٢,٨٦
١٩٩٠	٣٩,١٣	١٣,٢٣

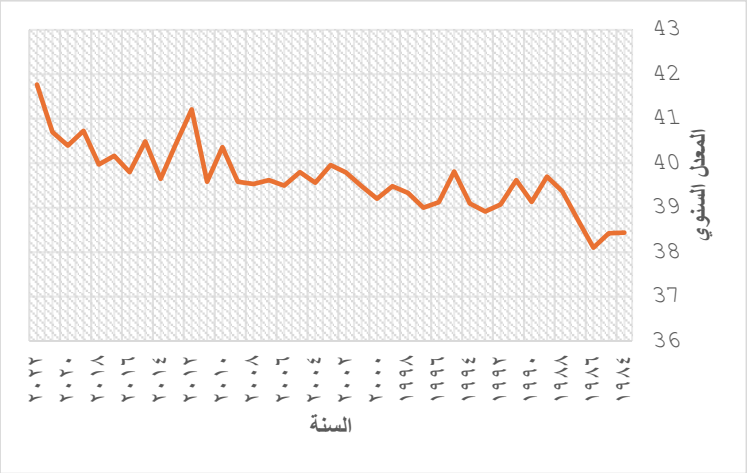
١٩٩١	٣٩,٦٢	١٢,١٧
١٩٩٢	٣٩,٠٧	١٠,٣٥
١٩٩٣	٣٨,٩١	٩,٤٠
١٩٩٤	٣٩,٠٩	١٥,٠٢
١٩٩٥	٣٩,٨١	١٤,٣٣
١٩٩٦	٣٩,١٢	١٤,٨٠
١٩٩٧	٣٩,٠٠	١١,٤٤
١٩٩٨	٣٩,٣٣	١١,٦٦
١٩٩٩	٣٩,٤٨	١٤,١٤
٢٠٠٠	٣٩,٢٠	١٤,٠١
٢٠٠١	٣٩,٤٨	١٣,٠٤
٢٠٠٢	٣٩,٧٩	١٣,٦١
٢٠٠٣	٣٩,٩٦	١٥,١٨
٢٠٠٤	٣٩,٥٦	١٢,٧٨
٢٠٠٥	٣٩,٨٠	١٥,٥٢
٢٠٠٦	٣٩,٥٠	١٥,٦٥
٢٠٠٧	٣٩,٦٢	١٤,٣٧
٢٠٠٨	٣٩,٥٣	١٣,٥٦
٢٠٠٩	٣٩,٥٨	١٣,٨٥
٢٠١٠	٤٠,٣٦	١٤,٦٥
٢٠١١	٣٩,٥٨	١٣,٦٠
٢٠١٢	٤١,٢١	١٣,٥٢
٢٠١٣	٤٠,٤٤	١٥,٤٤
٢٠١٤	٣٩,٦٥	١٥,٠٤
٢٠١٥	٤٠,٤٩	١٣,٧٦
٢٠١٦	٣٩,٨٠	١٢,٣٠
٢٠١٧	٤٠,١٧	١٤,٤٤
٢٠١٨	٣٩,٩٧	١٤,٤٩
٢٠١٩	٤٠,٧٣	١٣,٢٢
٢٠٢٠	٤٠,٤٠	١٢,١٩
٢٠٢١	٤٠,٧٠	١٣,٩٨
٢٠٢٢	٤١,٧٧	١٤,٤٧

المصدر: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات https://power.larc.nasa.gov

وتعد الأمطار في المحافظة نموذجاً للأمطار التي تسقط على المناطق الصحراوية تتباين في كمياتها واوقات سقوطها من عام لآخر، تبين أن هطول الأمطار غير منتظم ونادر بمتوسط ١٩١ملم/ سنة بمتوسط شهري يتراوح بين ٧ ملم في يوليو و٢٩ ملم في يناير (Almalki et al., 2021) هذا بالإضافة إلى أن المحافظة تقع على الحد الفاصل بين منطقتين مناخيتين تتأثر بهبوب الرياح الموسمية المطيرة خلال فصل الصيف، كما أنها تقع تحت تأثير الرياح الشمالية الغربية التي تسبب هطول الأمطار خلال فصل الشتاء، أما في فصل الخريف والصيف تتأثر بالرياح الغربية التي تسمى بالهبوب المسببة للأتربة والغبار (الجوفي وآخرون،٢٠٢٤، ص٧).

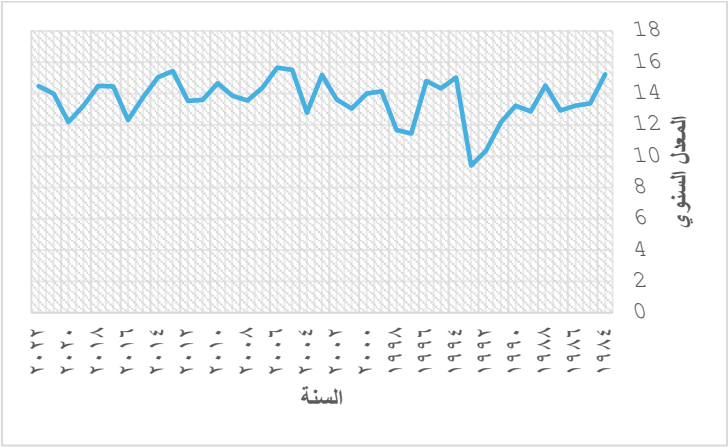
وتنتشر في منطقة الدراسة النباتات الطبيعية التي ارتبط توزعها الجغرافي بأماكن وجود المياه الجوفية التي تتركز في مجاري الأودية الرئيسة وروافدها، ومنها شجر السدر والأثل والعُشر والاذخر والعرفج والرينة والدرمة والرجلة والحنظل، كما تكثر الأشجار الشوكية المعمرة في بطون الأودية. وتتميز المحافظة بوجود غطاء نباتي ينمو في المنحدرات والسفوح.

الجبلية، إضافة إلى نموها كذلك ببطون الأودية التي يتغير وضعها بعد هطول الأمطار بنمو نباتات حولية، ومنها السمر والسلم والسرح والعوسج والحرمل والسنامكي والنقيع والقرمل؛ وأما خارج نطاق الأودية يقتصر الغطاء النباتي على بعض الأشجار والجنبات والحشائش الحولية التي توجد بصورة متباعدة ومنعزلة.



شكل ٢. المعدل السنوي لدرجات الحرارة العظمى بمحافظة القنفذة من عام (١٩٨٤م-٢٠٢٢م).

المصدر: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات جدول (١)٦٦غ



شكل ٣. المعدل السنوي لدرجات الحرارة الصغرى بمحافظة القنفذة من عام(١٩٨٤م-٢٠٢٢م)

المصدر: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات جدول (١)

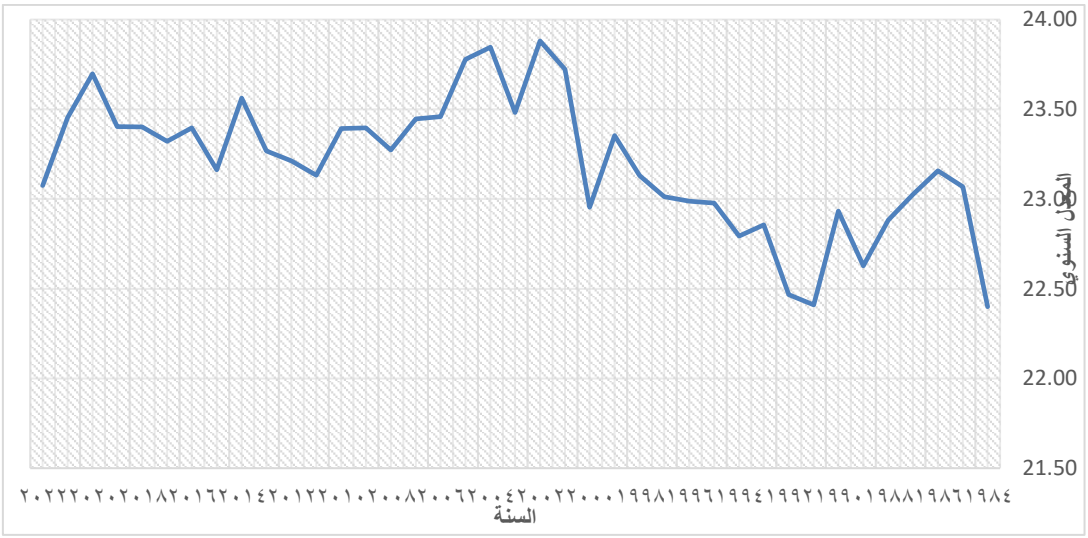
٥- المناقشة

٥-١ العوامل الجغرافية المساعدة على اختيار المواقع الملائمة لخدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة

٥-١-١ متوسط الإشعاع الشمسي

تعد نسبة الإضاءة القادمة من الشمس عاملاً مهماً في توليد الطاقة التي تصل لسطح الأرض؛ وهي أهم المعايير التي يتحدد عليها إقامة محطات الطاقة الشمسية. تبين من الجدول رقم (٢) والشكل رقم (٤) أن المعدل العام لقيم الإشعاع الشمسي الكلي الواصل إلى سطح الأرض في المحافظة خلال المدة ١٩٨٤ - ٢٠٢٢م (٣٩

سنة) قد اتخذ اتجاهاً نحو التناقص في معدله العام، ويعود ذلك إلى التغيرات في شفافية الغلاف الجوي التي ترتبط بنسبة التغيم والغبار وكمية الهباء الجوي التي تزيد نتيجة لتلوث الهواء خلال السنوات الأخيرة. وبما أن محافظة القنفذة تقع بين دائرتي عرض ١٩ْ إلى٢٠ْ شمالاً فهي تقع ضمن نطاق أعظم كمية للإشعاع عند سطح الأرض؛ بين دائرتي عرض ٢٠ درجة شمالاً وجنوباً. وقد أسهم هذا الموقع كثيراً في ارتفاع درجات الحرارة بسبب قرب هذا الموقع الفلكي من مدار السرطان الذي تتعامد عليه الشمس في فصل الصيف في نصف الارض الشمالي، ويلاحظ أن فصل الصيف ضمن منطقة الدراسة يشهد ارتفاعاً كبيراً في درجات الحرارة تبعاً لطول النهار فتكون الأشعة الساقطة ذات وضع عمودي أو شبه عمودي فيبلغ طول النهار ١٤ ساعة مقارنة بفصل الشتاء ذي النهار القصير حيث تكون الأشعة الشمسية عادة بوضع مائل أو شبه مائل، ويقل الإشعاع الشمسي بهذه الأشهر من السنة، فبذلك تتميز المحافظة بمعدلات جيدة للإشعاع الشمسي ولا سيما الأجزاء الشرقية والاجزاء الشمالية الشرقية التي تكون مواجهة للشمس خلال فصل الصيف كما يتضح من الشكل (٥).



شكل ٤. المعدل السنوي للإشعاع الشمسي بمحافظة القنفذة من عام(١٩٨٤م–٢٠٢٢م).

المصدر: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات جدول (٢)

جدول ٢. المعدل السنوي للإشعاع الشمسي بمحافظة القنفذة من عام (١٩٨٤م – ٢٠٢٢م).

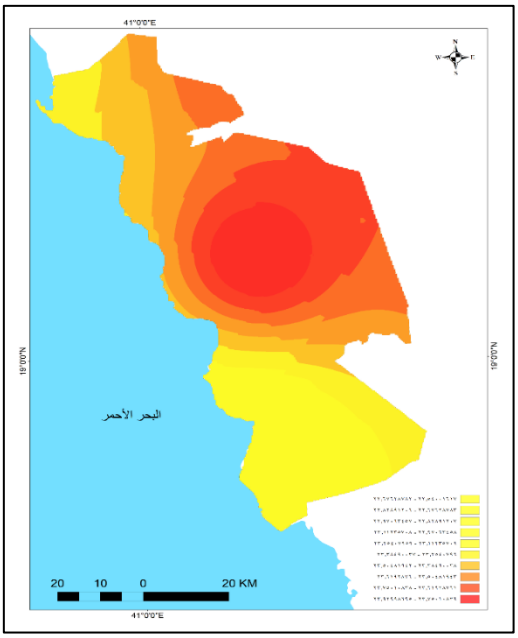
السنة (م)	المعدل السنوي
١٩٨٤	٢٢,٤٠
١٩٨٥	٢٣,٠٧
١٩٨٦	٢٣,١٦
١٩٨٧	٢٣,٠٣
١٩٨٨	٢٢,٨٨
١٩٨٩	٢٢,٦٣
١٩٩٠	٢٢,٩٣
١٩٩١	٢٢,٤١
١٩٩٢	٢٢,٤٧
١٩٩٣	٢٢,٨٦
١٩٩٤	٢٢,٧٩

١٩٩٥	٢٢,٩٨
١٩٩٦	٢٢,٩٩
١٩٩٧	٢٣,٠١
١٩٩٨	٢٣,١٣
١٩٩٩	٢٣,٣٥
٢٠٠٠	٢٢,٩٥
٢٠٠١	٢٣,٧٢
٢٠٠٢	٢٣,٨٨
٢٠٠٣	٢٣,٤٨
٢٠٠٤	٢٣,٨٥
٢٠٠٥	٢٣,٧٨
٢٠٠٦	٢٣,٤٦
٢٠٠٧	٢٣,٤٥
٢٠٠٨	٢٣,٢٧
٢٠٠٩	٢٣,٤٠
٢٠١٠	٢٣,٣٩
٢٠١١	٢٣,١٣
٢٠١٢	٢٣,٢١
٢٠١٣	٢٣,٢٧
٢٠١٤	٢٣,٥٦
٢٠١٥	٢٣,١٦
٢٠١٦	٢٣,٤٠
٢٠١٧	٢٣,٣٢
٢٠١٨	٢٣,٤٠
٢٠١٩	٢٣,٤٠
٢٠٢٠	٢٣,٧٠
٢٠٢١	٢٣,٤٥
٢٠٢٢	٢٣,٠٧

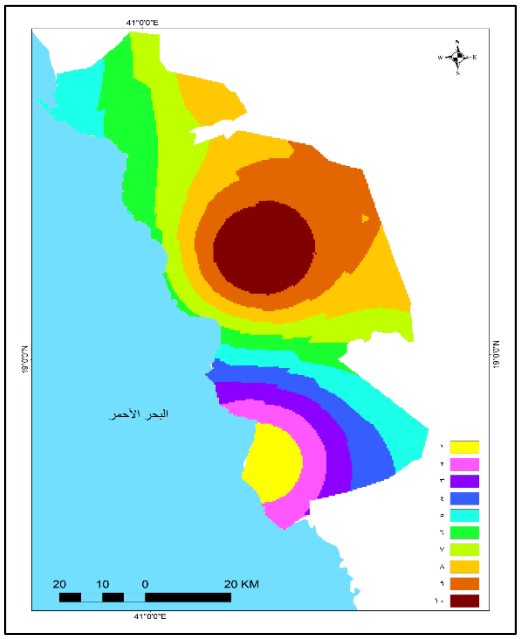
المصدر: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات https://power.larc.nasa.gov

أثبتت الإحصائيات الصادرة من محطات رصد الطاقة الشمسية في الكلية التقنية في القنفذة لعام ٢٠٢٢م أن المتوسط اليومي للإشعاع الكلي الساقط ((GHI في المحافظة سجل ٦,٤٦٠ واط ساعة / م^2 يومياً مقارنة بالمعدل اليومي للمنطقة الغربية لعام ٢٠٢٢م البالغ ٥,٨٣٠ واط ساعة / م^2 يومياً الصادر من محطات الرصد بالمنطقة الغربية. ويبلغ المتوسط اليومي للإشعاع العمودي المباشر (DNI) في المحافظة ٥,٣١٠ واط ساعة /م^2 يومياً مقارناً بالمعدل اليومي للمنطقة الغربية لعام ٢٠٢٢م البالغ ٥,٦٩٣ واط ساعة / م^2 يومياً. وبالنسبة للمتوسط اليومي للإشعاع الأفقي المنتشر (DHI) في المحافظة فيبلغ ٢,٣٧٣ واط ساعة / م^2 يومياً مقارناً بالمعدل اليومي للمنطقة الغربية لعام ٢٠٢٢م البالغ ٢,٠٧٠ واط ساعة / م^2 يومياً (الهيئة العامة للإحصاء،٢٠٢٢م).

وبناء على ما جاء بالدراسة الحالية فإن الأفضلية للمناطق ذات الإشعاع الشمسي الكبير التي تجمع أكبر كمية من الطاقة التي تتخذ قيمة (١٠) تقع بالقرب من مركز أحد بني زيد، أما المناطق الواقعة بالقرب من مركز حلي فتتلقى كميات قليلة من الإشعاع الشمسي (قيمة ١) ما يؤشر إلى عدم ملاءمة الموقع لإقامة محطة لخدمات الطاقة الشمسية. وهذا ما أثبته تطبيق نموذج الملاءمة المكانية الذي يتضح من الشكل رقم (٦).



شكل (٥) الإشعاع الشمسي بمحافظة القنفذة.

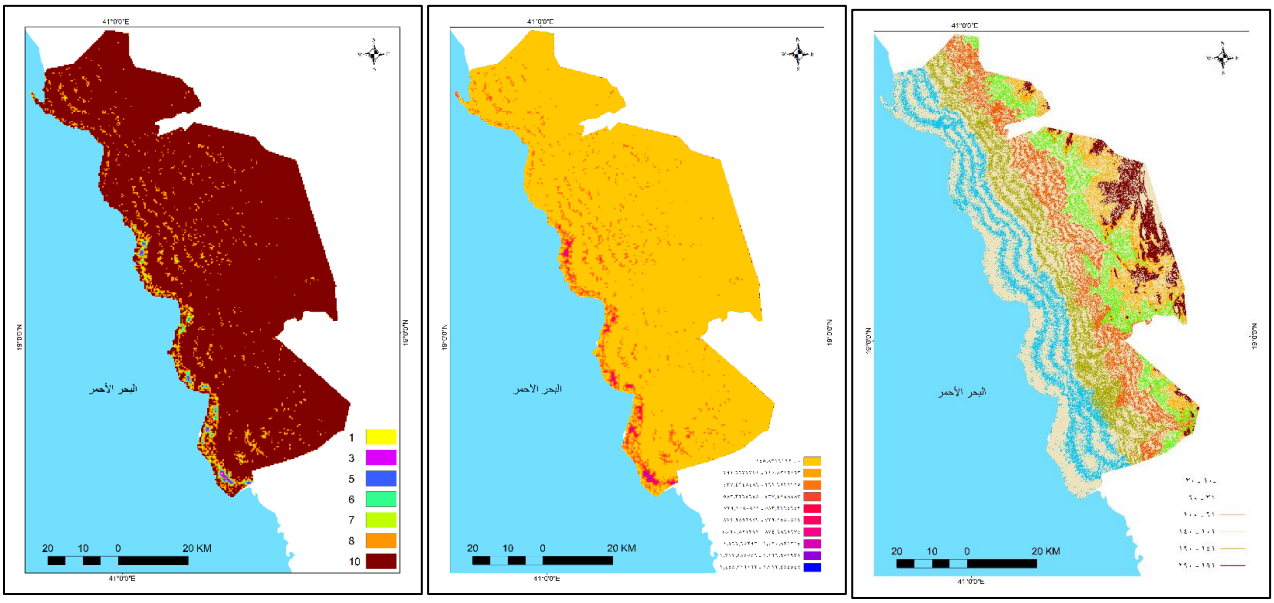


شكل (٦) تصنيف الإشعاع الشمسي بمحافظة القنفذة.

المصدر للشكلين: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م

٥-١-٢ ارتفاع سطح الأرض

يعد منسوب سطح الأرض أحد العوامل الفاعلة في التأثير على الإشعاع الشمسي حيث إن درجة الحرارة تنخفض كلما ارتفعنا ١٥٠ متر في المتوسط (زيد وآخرون،٢٠٢١م، ص٤٢) وتختلف من منطقة لأخرى، وأكدت دراسة النعاس،٢٠٢٠م أن الأشعة الشمسية تتناقص بالارتفاع عن مستوى سطح البحر، وبروز المرتفعات العالية تحجب أجزاء من الأشعة الشمسية؛ وهذا له علاقة بمدة السطوع الشمسي. ويتضح من الشكل رقم (٧) التباين في مستوى سطح الأرض لمواقع مختلفة ضمن منطقة الدراسة. وبشكل عام فإن طبيعة مناسيب السطح في محافظة القنفذة يرتفع داخل حيزها الجغرافي إلى٦٤٠ متراً فوق مستوى سطح البحر؛ تقع هذه البقعة المرتفعة في شرق المحافظة. ويتدرج السطح من القمة إلى القاعدة من الشرق إلى الغرب تنازلياً من منسوب ٦٤٠ متراً إلى مستوى سطح البحر. وتبين من خلال الدراسة الميدانية أن مستويات المناسيب المرتفعة أقل تعميراً من مستويات المناسيب الأقل ارتفاعاً على مستوى المحافظة؛ لذلك تبنت الدراسة معيار إقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية على ارتفاعات أقل من ١٠٠ متر بالنسبة لمتوسط منسوب سطح البحر تعد أكثر ملائمة وحازت على قيمة (١٠). اتضح من الشكل (٨، ٩) انتشار الموقع الملاءمة في وسط وشمال وجنوب المحافظة؛ وذلك يعود إلى طبيعة الأرض التي تتميز بالوعورة والتقعيد، وخاصة في الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية. أما مستويات المناسيب العالية بالمحافظة والتي تعد أكثر من ١٠٠ متر فحازت على قيمة (١) وتعد الأقل ملائمة لإقامة المحطات وتنتشر في الأجزاء القريبة من الساحل.



شكل ٧. ارتفاع السطح بالقنفذة. **شكل ٨. المسافة عن ارتفاع السطح بالقنفذة.** **شكل ٩. تصنيف ارتفاع السطح بالقنفذة.**

المصدر للأشكال: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م

٥-١-٣ انحدار سطح الأرض

نلاحظ أن السطح المستوي بمحافظة القنفذة يتلقى أشعة شمسية بشكل عمودي وتكون أكثر حرارة، ولكن المساحة التي تغطيها الأشعة العمودية تكون اقل مقارنة بالسطح المائل الذي يتلقى الأشعة بشكل مائل وتغطي مساحة أكبر، كما أن طبيعة السطح للمناطق السهلية والمنبسطة يعكس أشعة شمسية تفوق معامل الانعكاس بالمناطق الجبلية والمنحدرة.

يتضح من الجدول رقم (٣) والشكل رقم (١٠) أن سطح محافظة القنفذة غلب عليه الاستواء لوقوعه بين جبال تهامة والبحر الأحمر فهي عبارة عن سهل ساحلي يتميز بالاستواء تتراوح درجته ما بين صفر و٣ درجات ويشغل أغلب أراضي المحافظة بما نسبته ٩٧,٩٦% من إجمالي مساحتها. وتبين أن المناطق ذات الانحدار الخفيف تتراوح ما بين ٤ إلى ٨ درجات وهي ذات انتشار في المحافظة يمثل ما نسبته١,٩٦% من إجمالي مساحتها، ويقل انتشار المناطق المتوسطة الانحدار التي تتراوح ما بين ٩ إلى٢٠ درجة، وتتركز في الأجزاء الشمالية والشرقية والجنوبية بالمحافظة، وتمثل ما نسبته ٠,٠٨% من إجمالي مساحة المحافظة، أما أشد الانحدارات فتتمثل في سلسلة الجبال الواقعة إلى الشرق والجنوب الشرقي من المحافظة وتتراوح درجة انحدارها من ٣٠ إلى٧٠ درجة فتمثل ما نسبته ٠,٠٠١% من إجمالي مساحة المحافظة.

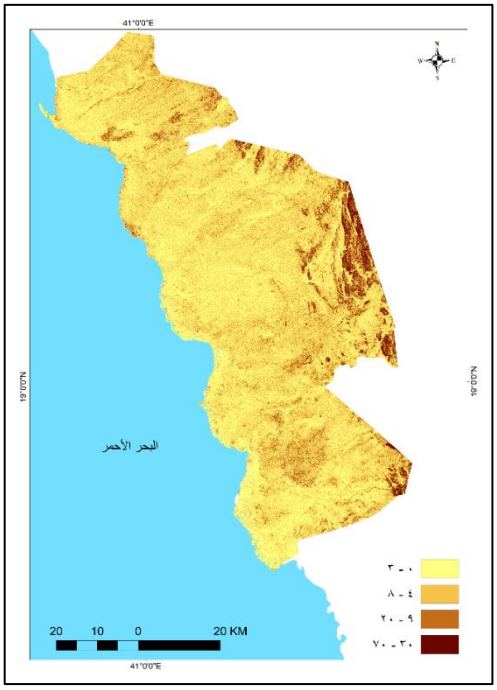
وقد طبقت الدراسة معيار الانحدار المتمثل في أن المناطق المستوية التي يتراوح انحدارها من ٠ إلى٣ درجات هي الأفضل لإقامة محطات للإشعاع الشمسي لتوليد الكهرباء بالمحافظة وقد اتخذت القيمة (١٠) وهذا مؤشر على أنها مواقع عالية الملائمة، وهي تنتشر في مواقع متفرقة من المحافظة كما هو مبين في الشكل رقم

(١١) في الجنوب الغربي وعلى طول خط الساحل إلى الشمال الغربي، أما المناطق التي يتراوح انحدارها من ٤-٧٠ درجة وتميزت بانحدار خفيف إلى انحدار شديد فتأخذ قيمة (١) وهذا مؤشر على انها مواقع غير ملائمة لإقامة المحطات. انتشرت في مواقع متفرقة من المحافظة بالأجزاء الجنوبية الشرقي واقصى الشرق.

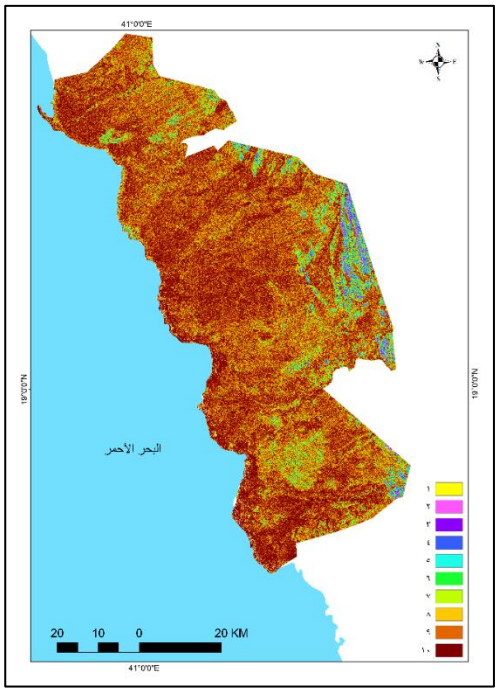
جدول ٣. النسبة المئوية لانحدار السطح بمحافظة القنفذة لعام ٢٠٢٤م.

درجات الانحدار	تصنيف الانحدار	المساحة (كم٢)	النسبة المئوية
٠ – ٣	انحدار مستوي	٥٠٨١٦٢٤,٨٤٤	٩٧,٩٦
٤ – ٨	انحدار خفيف	١٠١٦٩٨,٧٥	١,٩٦
٩ – ٢٠	انحدار متوسط	٣٩١٦,٠٩٣٧٥	٠,٠٨
٣٠ – ٧٠	انحدار شديد	٨٨,٥٩٣٧٥	٠,٠٠١
المجموع		٥١٨٧٣٢٨,٢٨١	١٠٠,٠

المصدر: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات شكل (١٠)



شكل ١٠. انحدار السطح بمحافظة القنفذة.



شكل ١١. تصنيف انحدار السطح بمحافظة القنفذة.

المصدر للشكلين: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م

٥-١-٤ اتجاه انحدار سطح الأرض

من المعلوم أن تركيب الألواح الشمسية له علاقة كبيرة باتجاه انحدار سطح الأرض، ومدى مواجهتها للأشعة الشمسية. وكما ذكر ساسي وآخرون (Sassi et al, 2023) فإن المناطق المواجهة لاتجاه الجنوب والجنوب الغربي والجنوب الشرقي في نصف الكرة الشمالي تتلقى معظم الإشعاع الشمسي وهي مناسبة لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية، ويتضح من جدول (٤) وشكل (١٢) اختلاف اتجاهات سطح الأرض في محافظة القنفذة في

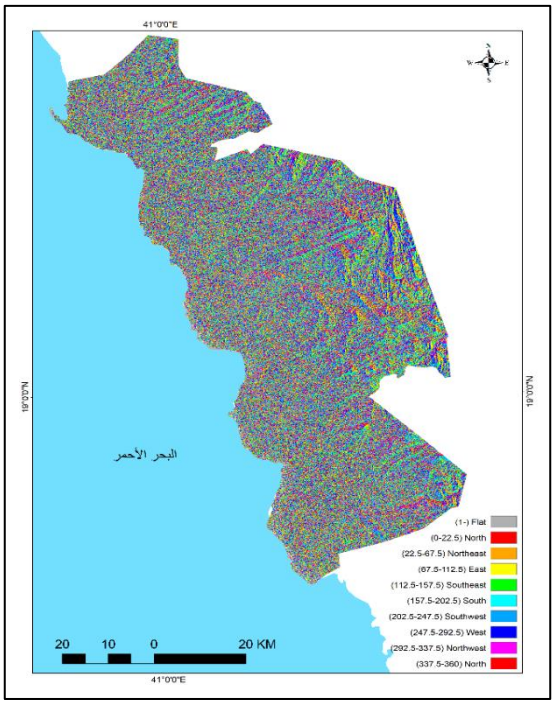
استقبالها لكميات أشعة الشمس؛ فتبين من تطبيق تحليل اتجاه الانحدار تماثل جميع اتجاهات الانحدار الرئيسة والفرعية في منطقة الدراسة. وتشير النسب المئوية لمساحاتها إلى انعدام وجود فروق بين جميع الاتجاهات، ما عدا الأراضي المستوية التي سجلت ما نسبته ١٢,٠٥%. أما بقية الاتجاهات فتراوحت ما بين ٩,٢٩% إلى١١,٤٤%. ومن هنا يتضح أن الأسطح المائلة المواجهة للشمال تستلم إشعاعاً شمسياً بكميات قليلة، أما الأسطح المائلة المواجهة للجنوب الجغرافي فتستلم كميات أعلى من الإشعاع على مدار السنة مقارنة مع بقية الأسطح.

هذا المعيار له أهمية كبيرة في تحديد المواقع المفضلة لإنشاء محطات لخدمات الطاقة الشمسية لأنه يحدد المواقع التي تتعرض للإشعاع الشمسي اطول فترة ممكنة خلال اليوم الواحد، فالأسطح ذات الاتجاه الجنوبي والجنوبي الشرقي والجنوبي الغربي تواجه اشعاع شمسي أكثر من مثيلاتها خلال النهار ضمن الدائرة الاتجاهية ما بين ١١٢ إلى٢٤٧ درجة كانت أكثر ملائمة وحازت على رقم (١٠) مما يشير إلى أن معظم الاتجاهات في المحافظة تميل في هذه الاتجاهات، أما الأسطح ذات الاتجاه الأخرى غير ملائمة حازت على رقم (١). ويتضح ذلك من خلال شكل (١٣).

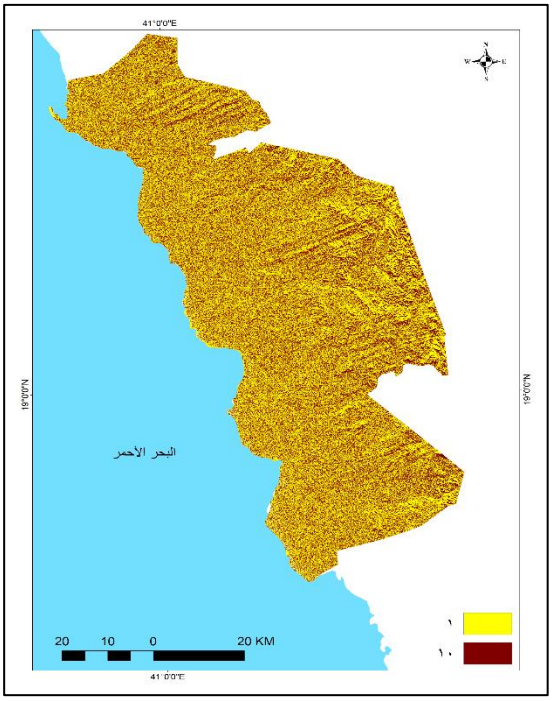
جدول ٤. النسبة المئوية لاتجاه انحدار سطح في محافظة القنفذة لعام ٢٠٢٤م.

اتجاه الانحدار	درجات الاتجاه للانحدار	القيمة وفق التصنيف	درجة الملائمة	المساحة(كم٢)	النسبة المئوية
مستو	-١	١	١	٦٢٤٩٣٢٨٠٠	١٢,٠٥
شمالي	٠ -٢٢,٥	٢	١	٥٣٣٥٤٧٢٠٠	١٠,٢٩
شمالي شرقي	٢٢,٥ -٦٧,٥	٣	١	٤٨١٧١٦٨٦٤	٩,٢٩
شرقي	٦٧,٥ -١١٢,٥	٤	١	٥٣٤٦٩٨٥٩٢	١٠,٣١
جنوب شرق	١١٢,٥- ١٥٧,٥	٥	١٠	٣٥٧٤٠٩٣٧٦	٦,٨٩
جنوب	١٥٧,٥-٢٠٢,٥	٦	١٠	٥٤٢٤٩٩٥٢٠	١٠,٤٦
جنوب غرب	٢٠٢,٥ -٢٤٧,٥	٧	١٠	٥٩٣٥١٤٦٨٨	١١,٤٤
غرب	٢٤٧,٥ - ٢٩٢,٥	٨	١	٥٧٩٣٥٤٥٦٠	١١,١٧
شمال غرب	٢٩٢,٥ -٣٣٧,٥	٩	١	٥٧٧٥٠٨٢٨٨	١١,١٣
شمال	٣٣٧,٥ -٣٦٠	١٠	١	٣٦١٥٩٦٧٠٤	٦,٩٧
المجموع				٥١٨٦٧٧٨٥٩٢,٠	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات الشكلين (١٢، ١٣).



شكل ١٢. اتجاه انحدار السطح بمحافظة القنفذة.



شكل ١٣. تصنيف اتجاه انحدار السطح بمحافظة القنفذة.

المصدر للشكلين: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م.

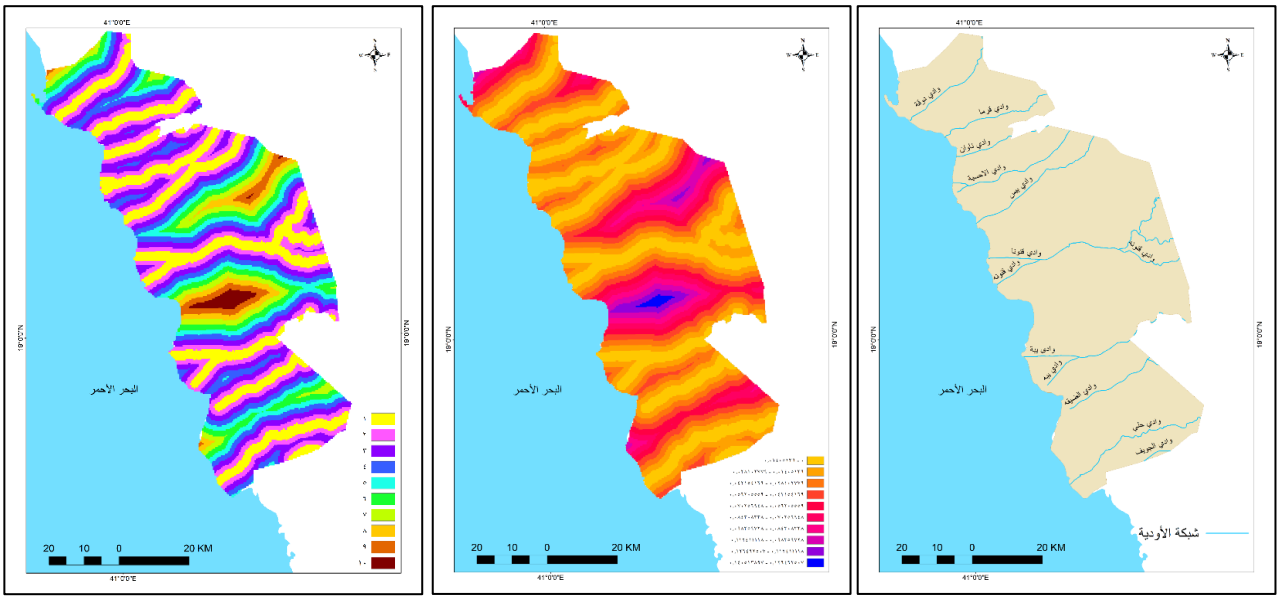
٥-١-٥ شبكة الأودية

أظهر نموذج الارتفاع الرقمي أن الارتفاع في منطقة الدراسة يصل إلى ذروته في الجزء الشرقي وينخفض غرباً، نحو مستوى البحر الأحمر، وقد أدى ذلك إلى ظهور منحدر شديد يتراوح بين صفر و٧٠ درجة، وهو ما يمثل تبايناً كبيراً في الارتفاعات. وعليه فإن منطقة الدراسة تمثلها تضاريس وعرة ومنحدرات شديدة في الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية، تتخللها شبكات المجاري المائية التي اتخذت اتجاهات تتجه ناحية الشرق والغرب والشمال الشرقي. وهي تظهر خطاً مستقيماً على طول الهياكل الرئيسية وتقطع المنحدر باتجاه الشمال الشرقي، حيث يشكل المنحدر حدوداً طبيعية للأحواض إلى الشرق. ثم وجد أنها تنحرف إلى التضاريس المنخفضة الغربية للسهل الساحلي للبحر الأحمر والشاطئ، ثم تجد طريقها بعد ذلك لتصب في البحر الأحمر.

تتمدد شبكات المجاري المائية التي تغطي الجزء الشرقي في اتجاهات الشمال الشرقي والجنوب الشرقي والجنوبي الغربي ووسط المحافظة، وترتبط بروافدها باتجاه الشرق والشمال الشرقي والغرب والجنوب الغربي بزوايا قائمة. وتتخذ أنماط مختلفة بمنطقة ساحل البحر الأحمر التي تظهر أنماطاً مستقيمة وشجرية ومتوازية. وتنحدر المجاري المائية القصيرة والمستقيمة والمتوازية من جبال تهامة. وتبين أن الجريان السطحي في الأودية يحدث بشكل رئيس أثناء هطول الأمطار الموسمية. وتتلقى المنطقة معدلات سنوية تتراوح بين ٥ – ٤٢٥ ملم، ولذلك تم إنشاء العديد من السدود في عدد من الأودية لتوفير المياه والاستفادة منها في أغراض الزراعة (Bamousa, 2020).

أظهر الشكل (١٤) أن عديداً من الأودية يقطع سهل تهامة، منها وادي حلي، ووادي يبه، ووادي قنونا ووادي دوقة، ووادي قرماء، ووادي سبت الجارة، ووادي الأحسبة، ووادي الجويف، ووادي الضيقة وتمتاز الأودية بجمالها وطبيعتها الخلابة تجذب السكان كمنتزه في مواسم الأمطار.

ومن خلال الشكلين (١٥، ١٦) تبين أن من المعايير المطبقة في الدراسة فيما يتعلق بشبكة الأودية في محافظة القنفذة أن المناطق البعيدة عن شبكة الأودية كانت أكثر ملاءمة لتأسيس محطات لخدمات الطاقة الشمسية، وحازت على رقم (١٠) ويلاحظ انتشارها بالقرب من مدينة القنفذة وأحد بني زيد بالمحافظة. أما المناطق القريبة من مجاري وبطون الأودية غير ملائمة حازت على رقم (١) وهي منتشرة بالقرب من الأودية بالمحافظة.



شكل ١٤. شبكة الأودية بالقنفذة. **شكل ١٥. المسافة عن شبكة الأودية بالقنفذة.** **شكل ١٦. تصنيف شبكة الأودية بالقنفذة.**

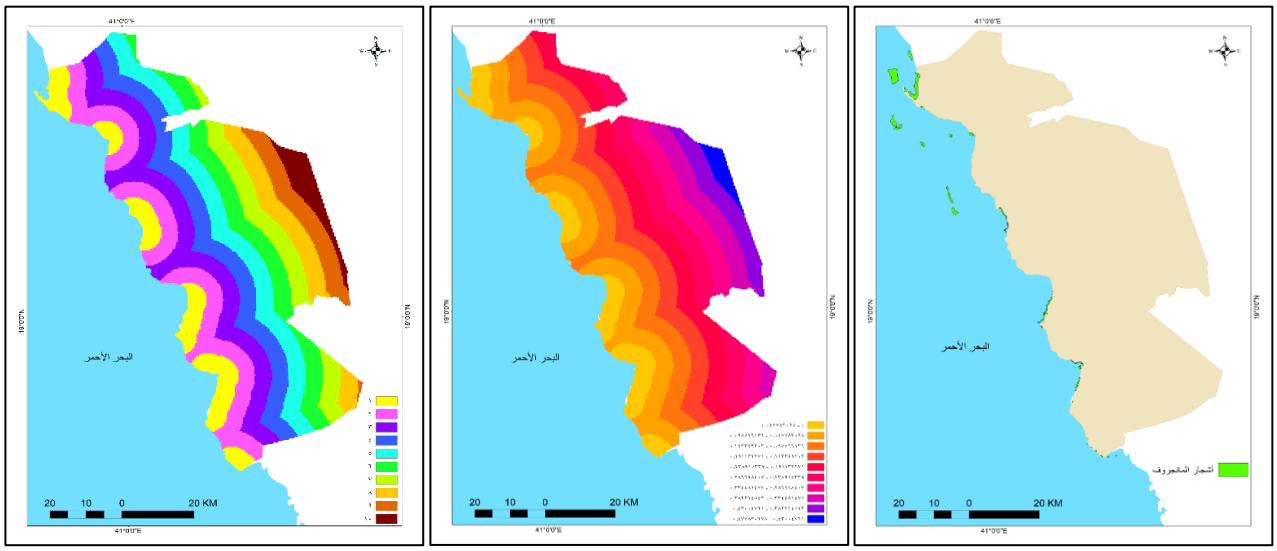
المصدر للأشكال: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م

٥-١-٦ *أشجار المانجروف*

تتميز المستنقعات المالحة على ساحل البحر الأحمر والمستنقعات المالحة الداخلية بمحافظة القنفذة بارتفاع محتواها من الملوحة حيث مكن لأنواع نباتية متكيفة بشكل خاص أن تنمو وتكمل دورة حياتها في نطاق بيئي أوسع بالمحافظة. واتضح أن السبخات المحاذية لها على طول الساحل تعرضت للتدهور وانخفاض في التركيبة النباتية بسبب موقعها المناسب للأنشطة البشرية المتزايدة للترفيه والمنتجعات الصيفية في الفترة الحالية، وقد اكدت دراسة Almalki, et al., 2021 أن ما نسبته ١٨% من إجمالي النباتات الملحية منتشرة على ساحل البحر الأحمر بمحافظة القنفذة تغطي حوالي ٤٠ كم^{٢} من مساحة المحافظة على طول الساحل (انظر الشكل ١٧).

ومن خلال الشكلين (١٨، ١٩) تبين أن من المعايير المطبقة في الدراسة فيما يخص أشجار المانجروف في محافظة القنفذة أن البعد عن مواقع أشجار المانجروف أكثر ملائمة وحازت على رقم (١٠) ويلاحظ انتشاره

في مناطق قريبة من مركز خميس حرب وثلاثاء الخرم وسبت الجارة إلى الشرق من المحافظة، أما المناطق القريبة من أشجار المانجروف غير ملائمة حازت على رقم (١) وخاصة المناطق الواقعة بالقرب من الساحل.



شكل ١٧. أشجار المانجروف بالقنفذة. شكل ١٨. المسافة عن أشجار المانجروف بالقنفذة. شكل ١٩. تصنيف أشجار المانجروف.

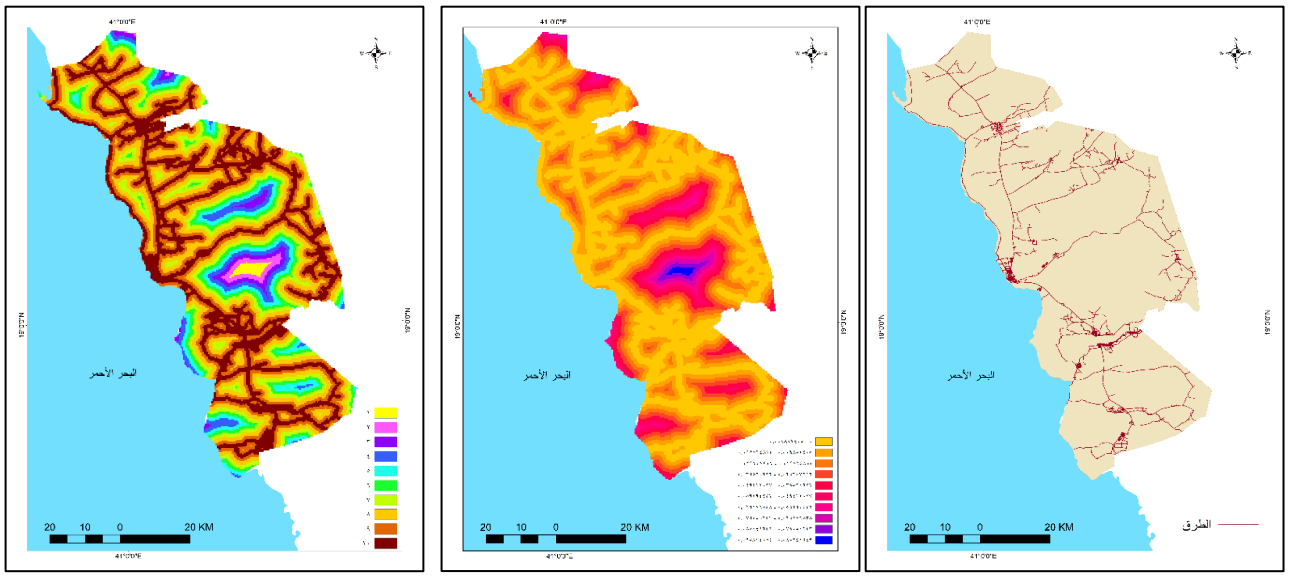
المصدر للأشكال: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة، ٢٠٢٤م

٥-١-٧ شبكة الطرق

تقع محافظة القنفذة على المحور الإقليمي الساحلي، الذي يصل بين كل من مكة المكرمة، ومحافظة جدة، ومحافظة الليث الذي يمتد جنوباً إلى محافظة جازان، والحدود الجنوبية للمملكة العربية السعودية مع الجمهورية اليمنية، والذي يعد من المحاور الحيوية للنقل البري غرب المملكة العربية السعودية، إضافة إلى محاور النقل العرضية في المحافظة التي تربطها بمحافظة الباحة، ومحافظة الطائف ومحافظة عسير. وتضم محافظة القنفذة شبكة ضخمة من الطرق تخدم المحافظة نفسها وتربطها ببقية المحافظات المجاورة لها؛ ومنها الطرق السريعة والمزدوجة والطرق ذات المسار الواحد (انظر الشكل ٢٠). وقد اتضح من الدراسة أن أغلب طرق المحافظة تقع في مجاري الأودية أو روافدها مما جعل هذه الطرق تتعرض للتدمير وتتسبب في حوادث مرورية. وتتلقى الطرق في المحافظة الاهتمام من الهيئة العامة للطرق بتطوير البنية التحتية للطرق، لتقليل الحوادث الناتجة عن انزلاق المركبات إلى الأودية أثناء جريان السيول، وزيادة سعة الطريق والعمل على ما ورد في رؤية ٢٠٣٠ لمواكبة الطلب المتزايد على شبكة الطرق بالمحافظة لضمان انسيابية الحركة المرورية. للوصول إلى التصنيف السادس في مؤشر جودة الطرق عالمياً.

وقد طبقت الدراسة معيار الطرق المتمثل في أن القرب من الطرق الأفضل لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية بالمحافظة وقد نالت القيمة (١٠) وهذا مؤشر على أنها مواقع عالية الملاءمة، وانتشرت في مواقع متفرقة

من المحافظة بالقرب من شبكة الطرق كما هو مبين بالشكلين (٢١، ٢٢). أما المناطق البعيدة عن شبكة الطرق والتي وقعت جنوب مركز أحد بني زيد فتأخذ قيمة (١) وهذا مؤشر على أنها مواقع غير ملاءمة لإقامة المحطات.



شكل ٢٠. الطرق في القنفذة. **شكل ٢١. المسافة عن الطرق في القنفذة.** **شكل ٢٢. تصنيف الطرق في القنفذة.**

المصدر للأشكال: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م.

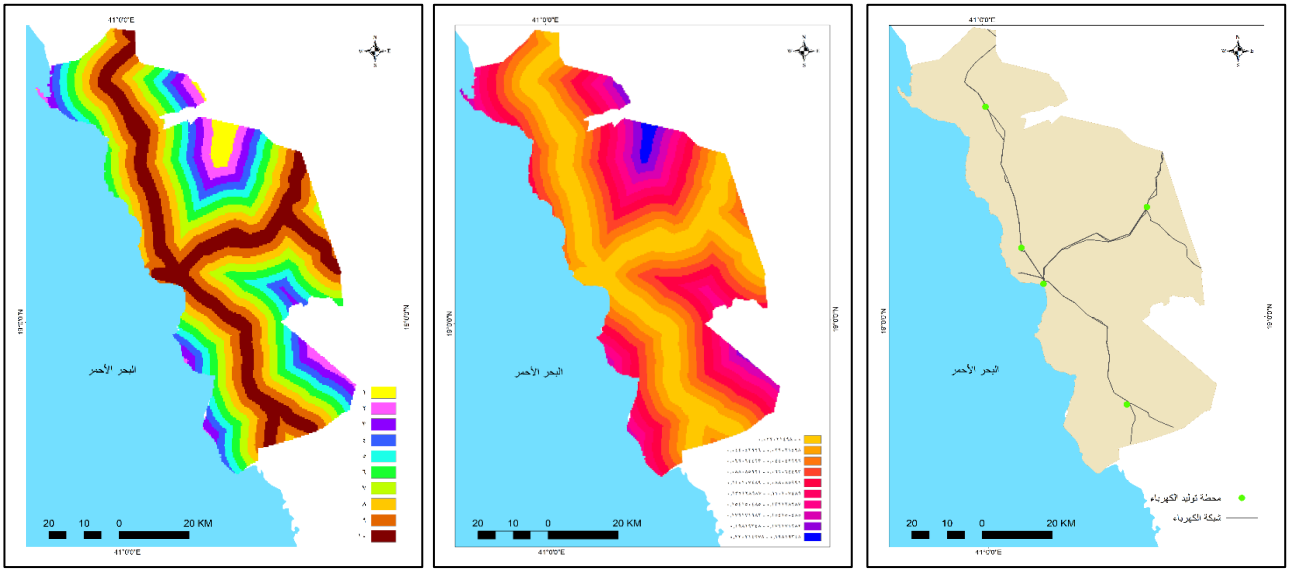
٥-١-٨ شبكة نقل الكهرباء

شهدت الاحتياجات المترتبة على قطاع الكهرباء في محافظة القنفذة نمواً مطرداً ومتسارعاً نتيجة لتنامي تعداد السكان والتوسع المتصل في مختلف القطاعات. ومقارنة بقطاع الطاقة الكهربائية في محافظات المملكة شهد زيادة كبيرة في الطلب على الحمل الأقصى والاستهلاك. ونتيجة لذلك فقد أزداد أنتاج الطاقة الكهربائية، وبلغ حوالي١١% . وأستمر هذا الطلب بالزيادة في الفترات اللاحقة لعام ٢٠٠٨م بلغ معدل النمو المركب لاستهلاك الكهرباء حوالي ٦,٥% في السنة (هيئة تنظيم الماء والكهرباء،٢٠٢٢م، ص١٠).

من خلال تحليل إحصائيات ٢٠٢٢م، بلغت الطاقة الكهربائية المبيعة في المنطقة الغربية ٩٨ تيرا وات/ساعة وهي أعلي نسبة من إجمالي مناطق المملكة، بالنسبة للقدرة الكهربائية المتاحة للمنطقة الغربية بلغت ١٧ قيقا واط، وأتت في المرتبة الثالثة، أضف إلى ذلك بلغ اعداد المشتركين بالكهرباء ٣,٨ مليون مشترك، واحتلت المركز الأول بالنسبة لإجمالي مناطق المملكة، أما أعداد المستهلكين في المنطقة فمثلت ٣٥% من إجمالي المستهلكين للكهرباء بمناطق المملكة. وفيما يخص الحمل الذروي فقد بلغ ١٦ قيقا واط، واحتلت به القنفذة المرتبة الثالثة بالنسبة لمناطق المملكة. وبلغت شبكات النقل في القنفذة ٢٧ ألف كيلومتر دائري، فاحتلت بذلك المرتبة الثانية بالنسبة لجميع مناطق المملكة. وبلغت شبكات التوزيع ٢٥١ ألف كيلومتر دائري، فحازت المرتبة الثانية بالنسبة لجميع مناطق المملكة الوسطى والغربية والجنوبية (هيئة تنظيم الماء والكهرباء،٢٠٢٢م، ص١٠).

تعد خطوط نقل الكهرباء الهوائية هي الأكثر شيوعاً بمحافظة القنفذة وهذا ما اثبتته الدراسة الميدانية، وقد بلغت أطوالها، لعام ٢٠٢٤م، ٤٩٠,٩٥١ كيلومتر (انظر الشكل ٢٣)، بالنسبة لأطوال الشبكة الكهربائية بالمنطقة الغربية لعام ٢٠٢٢م مثلت ٢٥٠,٦٦٤ كيلومتر دائري مقارنة بأطوال خطوط نقل الكهرباء الأرضية التي بلغت ٢٦,٦٧٨ كيلومتر دائري (هيئة تنظيم الماء والكهرباء،٢٠٢٢م، ص٦٥)؛ أضف إلى ذلك أن القطاع السكني وهو أكثر قطاع مستهلك للطاقة الكهربائية بالمنطقة الغربية بلغ ٤٦% من إجمالي القطاعات الأخرى بالمنطقة، واحتلت القنفذة بذلك المرتبة الثانية بعد المنطقة الوسطى.

وقد طبقت الدراسة معيار القرب من شبكة الكهرباء ما يمكن من تحديد أفضلية المواقع لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية بالمحافظة وقد اخذت القيمة (١٠)؛ وهذا مؤشر على أنها مواقع عالية الملاءمة، انتشرت في مواقع متفرقة من المحافظة بالقرب من شبكة نقل الكهرباء كما هو مبين في الشكلين (٢٤، ٢٥)، أما المناطق البعيدة عن شبكة الكهرباء والتي وقعت الشمال الشرقي من المحافظة جنوب شرق مركز المظيلف وجنوب غرب مركز ثلاثاء الخرم فتأخذ قيمة (١) وهذا مؤشر على أنها مواقع غير ملائمة لإقامة المحطات.



شكل ٢٣. شبكة الكهرباء بالقنفذة. **شكل ٢٤. المسافة عن شبكة الكهرباء بالقنفذة.** **شكل ٢٥. تصنيف شبكة الكهرباء بالقنفذة.**

المصدر للأشكال: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م.

٥-١-٩ النطاق العمراني

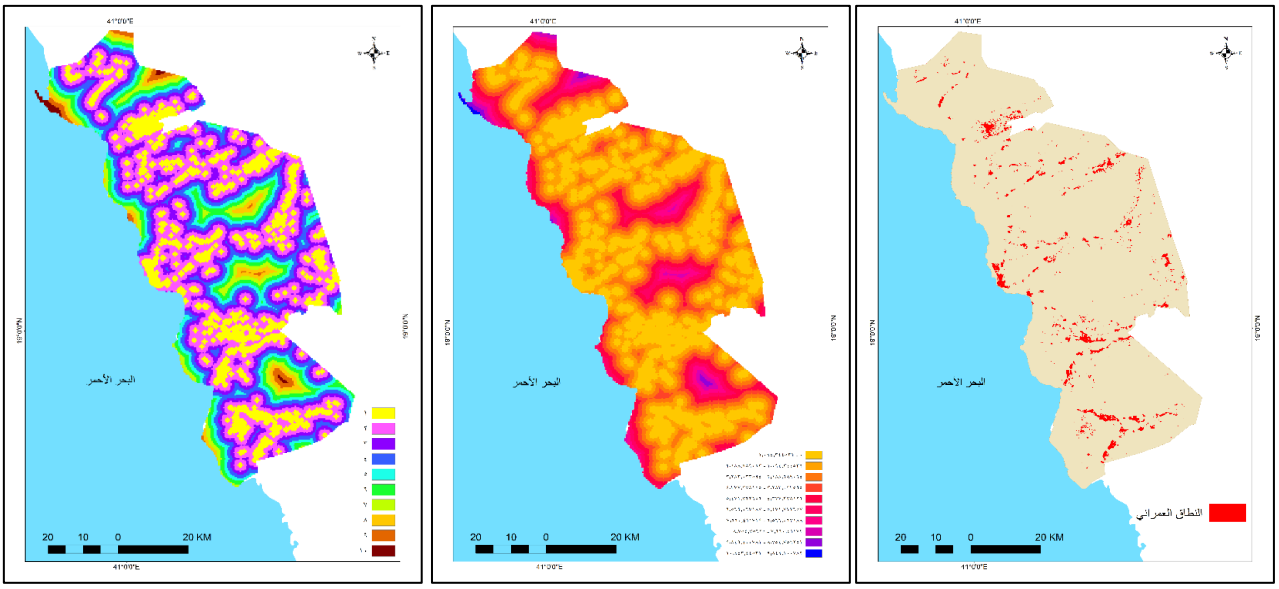
يقع النطاق العمراني في محافظة القنفذة ضمن الحدود الملائمة لتوطين الأنشطة الحضرية واستيعاب النمو العمراني خلال الفترة الزمنية القادمة لتوفير الخدمات والمرافق العامة لتحقيق أعلى قدر من الكفاءة الاقتصادية للموارد المتاحة للوصول للحجم الأمثل للمحافظة ومراكزها الإدارية وقراها توافقاً مع الزيادة السكانية التي تواجهها المحافظة، وهذا يؤكد ما ذكرته دراسة أبا الخيل ٢٠٢٢م بأن الوضع الإداري لمحافظة القنفذة وما تمتلكه من مقومات طبيعية وبشرية وسياحية يجعلها تتحول من محافظة إلى منطقة إدارية.

كما هو ملاحظ من الشكل (٢٦) تقدر مساحة النطاق العمراني في المحافظة ١٤٩,٧٦٨ كم٢ تمثل ما نسبته ٤٠% من إجمالي مساحة المحافظة، وتبين انتشار المراكز العمرانية بالقرب من مسارات الأودية ومجاريها، وبالمنخفضات، وبالقرب من الطرق السريعة، وبالقرب من ساحل البحر الأحمر. وقد اتضح من الدراسة الميدانية ٢٠٢٤م أن التشتت العمراني كان بسبب امتداد العمران الأفقي مع وجود مساحات كبيرة من الأراضي الفضاء غير المستغلة تتخللها وتغلب عليها الكثبان الرملية أو هي مناطق سبخات أو مناطق غطاء شجري متناثر، وفيما يخص التمدد العمراني في المخططات الهيكلية الحديثة لمدينة القنفذة ومراكزها الإدارية فهنالك تنظيم وفق ضوابط وأسس مدروسة لاستخدامات الأراضي على المدى الطويل وفق خطط معدة لعام ١٤٥٠هـ. أما القرى فقد لوحظ تمدد إطار عمراني غير متجانس بتشتت الكتل العمرانية وبعثرتها.

وقد طبقت الدراسة معيار البعد عن النطاق العمراني الذي يمكن من تحديد أفضلية المواقع لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية بالمحافظة وقد أحرزت القيمة (١٠) وهذا مؤشر على أنها مواقع عالية الملاءمة، انتشرت في مواقع متفرقة من المحافظة أقصى شرق مركز دوقة، وغرب مركز دوقة مقابل ساحل البحر الأحمر، وشمال مركز حلي كما هو مبين بالشكلين (٢٧، ٢٨). أما المناطق القريبة من النطاق العمراني والتي انتشرت بالقرب من مراكز العمران بالمحافظة فتأخذ قيمة (١) وهذا مؤشر على أنها مواقع غير ملائمة لإقامة المحطات.

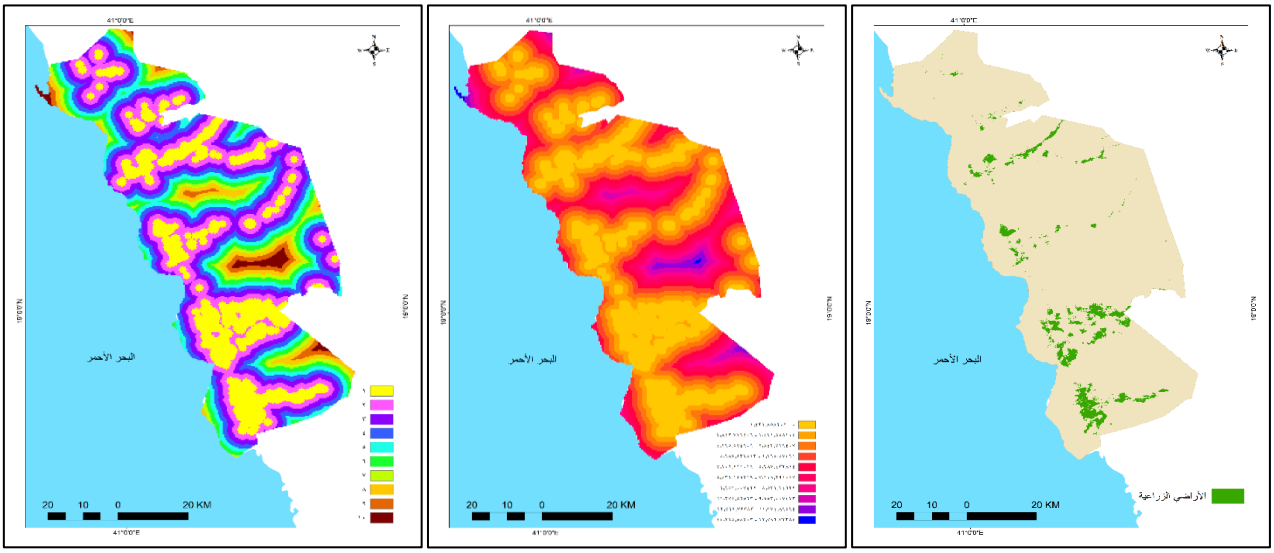
٥-١-١٠ الأراضي الزراعية

تتوزع جميع الأراضي الزراعية في محافظة القنفذة بالمناطق التي ينخفض بها معدل انحدار سطح الأرض إلى أقل من ٨ درجات، وكذلك على أطراف مجاري الأودية؛ وتعد الأكثر استغلالاً خلال فترة سقوط الأمطار، إضافة إلى انتشار بعض الأراضي الزراعية في قيعان الأودية وخاصة بالمناطق التي تتوفر بها مياه الري من الآبار الأرتوازية، والآبار العادية المنتشرة بالمنطقة. وأغلب المزارع تمتاز بانها ذات ملكية خاصة. وتتميز بصغر حجم بعضها أو بتلاصقها أو بقربها من بعضها مما يقف عقبة أمام إمكانية توسع وزيادة مساحة المزرعة مستقبلاً هذا ما أثبتته الدراسة الميدانية. وبالنظر للشكل (٢٩) يتضح أن مساحة الأراضي الزراعية في محافظة القنفذة تقدر بحوالي ٢٠٨,١٣٨ كم٢ مثلت ما نسبته ٥٥% من إجمالي مساحة المحافظة وتتركز في جنوبها. ويتركز النشاط الرئيسي لسكان المحافظة في الزراعة نظراً لتوافر المقومات الطبيعية من تربة ومياه ومناخ إضافة إلى المقومات البشرية كتوافر الأيدي العاملة، الآليات، أضف إلى ذلك الدعم الحكومي المقدم للمزارعين لتنشيط الزراعة بالمحافظة، أضافه إلى إقامة السدود على الأودية للاستفادة منها في توفير المياه من أجل الزراعة والتي تم إنشاؤها في محافظة القنفذة وفي محافظة الباحة، خاصة على الأودية التي تجري في محافظة القنفذة ومن أهمها سد وادي دوقة، وسد وادي حلي، سد وادي الأحسبة، وسد وادي قنونا، وسد وادي يبه. ساهم كل هذا في انتشار الزراعة وخاصة زراعة الحبوب، والذرة، والدخن، والشعير، والسمسم، والخضروات، والفواكه والخضروات التي تعد أكثر المحاصيل شيوعاً للزراعة بالمحافظة. (أبا الخيل،٢٠٢٢م، ص٢٠).



شكل ٢٦. النطاق العمراني بالقنفذة. **شكل ٢٧. المسافة عن النطاق العمراني بالقنفذة.** **شكل ٢٨. تصنيف النطاق العمراني بالقنفذة.**

المصدر للأشكال: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م.



شكل ٢٩. الأراضي الزراعية بالقنفذة. **شكل ٣٠. المسافة عن الأراضي الزراعية بالقنفذة.** **شكل ٣١. تصنيف الأراضي الزراعية.**

المصدر للأشكال: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م.

ومن خلال النظر إلى الشكلين (٣٠، ٣١) يتبين أن أكثر المواقع ملاءمة لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية في المحافظة بالبعد عن الأراضي الزراعية وحازت على رقم (١٠) ويلاحظ انتشاره بالقرب من شمال شرق وشمال غرب مركز دوقة، إضافة إلى الموقع جنوب مركز سبت الجارة وشمال مركز أحد بني زيد، وكذا الموقع شمال شرق مركز حلي. أما المناطق القريبة من الأراضي الزراعية فهي غير ملائمة بحصولها على رقم (١) في المعيار وهي منتشرة بالقرب من الأراضي الزراعية بالمحافظة.

٥-٢ *التحليل متعدد المعايير لتحديد المواقع الملائمة لمحطات خدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة*

يعتمد بناء نموذج الملاءمة المكانية في اختيار مواضع لمحطات خدمات الطاقة الشمسية على عدد من المعايير منها معايير مناخية وطبوغرافية وبيئية ومعايير اقتصادية تلك التي تم اخذها بالاعتبار (انظر الشكل ٣٢). ولمعرفة وزن تأثير كل معيار في اختيار المواقع المحتملة لمحطات الطاقة، تم تحليل البيانات باستخدام أدوات التحليل المكاني وأسلوب التحليل الهرمي في دعم اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير MCDA والتي تسمح بمقارنة المتغيرات لصناعة القرار الأمثل، وتضمنت تلك الأساليب تحديد الهدف من المعيار المستخدم وهو أن تحقق المواقع عدة متطلبات وأهمها ارتفاع كمية الإشعاع الشمسي بالمكان، وأن تتراوح درجة الانحدار للسطح ما بين صفر إلى ٣ درجة، واتجاه الانحدار يتراوح ما بين ١١٢,٥ إلى ٢٤٧ درجة، وارتفاع منسوب السطح يكون أقل من ١٠٠ متر، إضافة إلى البعد عن المناطق التي تقلل من كفاءة محطات الطاقة الشمسية كمجاري الأودية، وأشجار المانجروف، والمناطق العمرانية، والأراضي الزراعية، ويجب أن يراعى أن تحقق المواقع أقل التكلفة لإنشاء المحطات من خلال القرب من شبكة الطرق، والكهرباء. وبناء على ذلك تم إنتاج خرائط لكل معيار على أن تقسم كل منها إلى ١٠ فئات متساوية ويعاد تصنيفها ويوحد من ١ إلى ١٠ بحيث تأخذ الفئات الأقل ملائمة قيمة ١ والفئات الأكثر ملائمة قيمة ١٠ كما هو موضح بالجدول (٥)؛ وبناء عليه خصصت الأهمية للمناطق التي تزيد فيها كمية الإشعاع الشمسي ويقل بها نسبة الانحدار وارتفاع منسوب سطح الأرض وقربها من شبكة الطرق والكهرباء.

Resulting Priorities

Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons:

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	متوسط الإشعاع الشمسي السنوي	18.3%	1	6.2%	6.2%
2	ارتفاع سطح الأرض	12.2%	3	3.2%	3.2%
3	انحدار سطح الأرض	14.1%	2	6.0%	6.0%
4	اتجاه الانحدار	10.2%	4	4.0%	4.0%
5	أشجار المناجروف	5.0%	10	1.7%	1.7%
6	شبكة الأودية	8.0%	7	2.0%	2.0%
7	الطرق	8.6%	6	2.1%	2.1%
8	شبكات نقل الكهرباء	8.9%	5	3.5%	3.5%
9	النطاق العمراني	7.6%	8	2.6%	2.6%
10	الأراضي الزراعية	7.0%	9	1.9%	1.9%

Number of comparisons = 45
Consistency Ratio CR = 3.6%

Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2	0.50	1	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3	0.50	1.00	1	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00
4	0.33	1.00	0.33	1	2.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00
5	0.50	0.50	0.50	0.50	1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6	0.50	1.00	0.50	1.00	2.00	1	1.00	0.50	1.00	1.00
7	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00
8	0.50	0.50	0.50	0.50	2.00	2.00	1.00	1	2.00	1.00
9	0.50	0.50	0.50	0.50	2.00	1.00	1.00	0.50	1	2.00
10	0.50	0.50	0.50	0.50	2.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1

Principal eigen value = 10.486
Eigenvector solution: 5 iterations, delta = 9.5E-9

شكل ٣٢. نتائج الأوزان للمعايير قيد الدراسة باستخدام عملية التحليل الهرمي.

المصدر: من اعداد الباحثة اعتمادا على بيانات https://bpmsg.com.

جدول ٥. المعايير المستخدمة في تحديد المواقع المثالية لمحطات خدمات الطاقة الشمسية لعام ٢٠٢٤م.

المعيار	تصنيف المعايير	درجة الملاءمة	نوع الملاءمة
متوسط الإشعاع الشمسي السنوي (كيلووات/يوم/متر مربع)	اقل المواقع تجميع للإشعاع الشمسي	١	غير ملائم
	اعلى المواقع تجميع للإشعاع الشمسي	١٠	ملائم
ارتفاع سطح الأرض	ارتفاع سطح الأرض	١	غير ملائم

(متر)	انخفاض سطح الأرض	١٠	ملائم
انحدار سطح الأرض (درجة)	اعلى انحدار لسطح الأرض	١	غير ملائم
	اقل انحدار لسطح الأرض	١٠	ملائم
اتجاه انحدار سطح الارض (درجة)	اتجاه اشمال والشمال الشرقي والشمال الغربي والشرق والغرب	١	غير ملائم
	اتجاه الجنوب الشرقي والجنوب الغربي والجنوب	١٠	ملائم
أشجار المانجروف (كم)	القرب من أشجار المانجروف	١	غير ملائم
	البعد عن أشجار المانجروف	١٠	ملائم
شبكة الأودية (كم)	القرب من شبكة الأودية	١	غير ملائم
	البعد عن شبكة الأودية	١٠	ملائم
شبكة الطرق (كم)	البعد عن شبكة الطرق	١	غير ملائم
	القرب من شبكة الطرق	١٠	ملائم
شبكة نقل الكهرباء (كم)	البعد عن شبكة نقل الكهرباء	١	غير ملائم
	القرب من شبكة نقل الكهرباء	١٠	ملائم
النطاق العمراني (كم)	القرب من النطاق العمرانى	١	غير ملائم
	البعد عن النطاق العمرانى	١٠	ملائم
الأراضي الزراعية (كم)	القرب من الأراضي الزراعية	١	غير ملائم
	البعد عن الأراضى الزراعية	١٠	ملائم

المصدر: من إعداد الباحثة.

وتم تحديد الاوزان النسبية للمعايير باستخدام التحليل الهرمي (AHP) في حساب مصفوفة الاوزان النسبية للمعايير من خلال المقارنة الثنائية الكمية بين المعايير مع بعضها البعض تبعاً لأهميتها النسبية، ومن ثم وزنها بالنسبة للهدف.

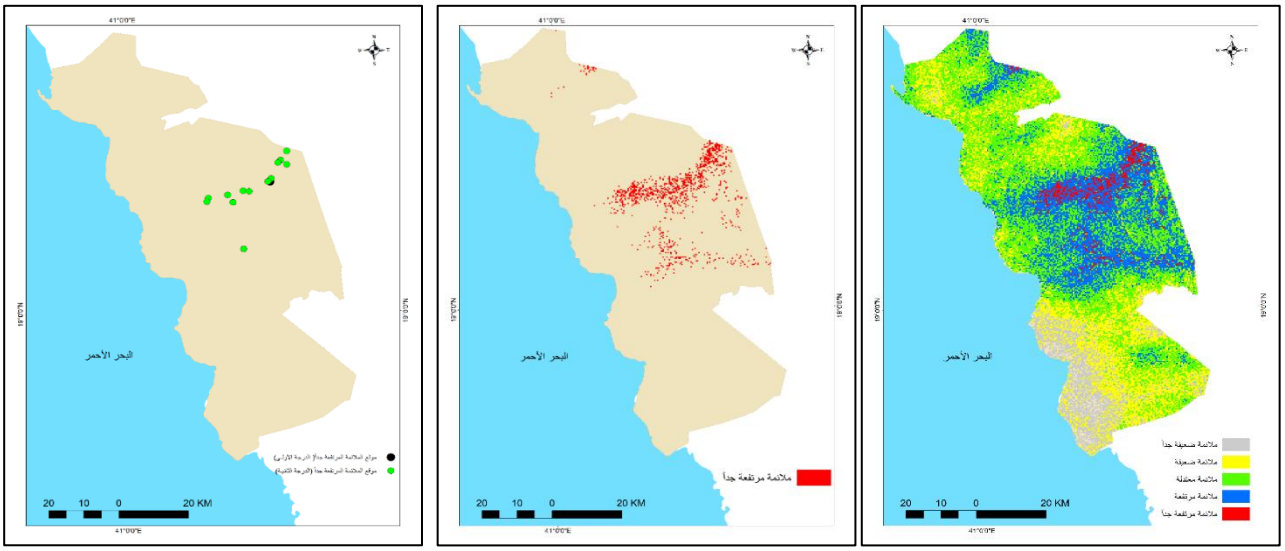
تبين من خلال إجراء عمليات التحليل والنمذجة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية وإخراج خريطة تبين أفضل المواقع لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية بناء على مجموعة من المعايير التي تضمنت مجموعة مختلفة من معايير طبوغرافية ومعايير مناخية ومعايير بيئية ومعايير اقتصادية، مُثلت درجة الملاءمة في ٥ فئات رئيسة: الأولى فهي المناطق ذات الملائمة الضعيفة جداً حيث تقل بها نسبة الملاءمة عن ٥٠% تنتشر في جنوب غرب محافظة القنفذة، غرب مركز حلي ومركز كنانة ومركز القوز بمساحة ٤٩١,٩٧٦٧ كم^{٢} بنسبة ٩,٥٣% من إجمالي مساحة محافظة القنفذة. أما الفئة الثانية والتي تقل بها نسبة الملاءمة لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية في المحافظة والتي تشكل المناطق ذات الملائمة الضعيفة ومثلت ما نسبته ٢٥,٢٠% من إجمالي مساحة المناطق الملائمة، فتنتشر في أغلب أراضي المحافظة ممتدة بالأراضي المجاورة لساحل البحر الأحمر، ومنتشرة في وسط وشمال وغرب مركز دوقة، إضافة امتدادها في شرق ووسط وغرب وجنوب مركز المظيلف، وتغطي أراضي شمال ووسط وجنوب مدينة القنفذة، أضف إلى ذلك ما يغطي أراضي كل من مركز القوز وحلي وكنانة. بالنسبة للفئة الثالثة فهي المناطق ذات الملاءمة المعتدلة، وتمثل ما نسبته ٣٩,٦٧% من إجمالي مساحة المناطق الملائمة التي تتميز بارتفاع نسبة مساحة الأراضي التي تغطي جميع مراكز المحافظة بنسبة مرتفعة، وقد تبين أن الفئة الرابعة شكلت ملائمة عالية، مثلت ما نسبته ٢٢,٢٨% من إجمالي مساحة المناطق الملائمة وتقع

في شمال شرق مركز دوقة، وشمال مركز المظيلف جنوب مركز ثلاثاء الخرم، وتنتشر على أغلب أراضي مركز سبت الجارة، وأحد بني زيد وخميس حرب، إضافة إلى وقوع النطاق شمال وشرق مدينة القنفذة، ويقع النطاق الذي يتصف بملاءمة مرتفعة جداً لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية جنوب شرق مركز دوقة، وجنوب شرق مركز ثلاثاء الخرم، وشمال مركز سبت الجارة وشمال شرق وشمال مركز أحد بني زيد، وشرق مدينة القنفذة وجنوب غرب وجنوب خميس حرب مثل ما نسبته ٢,٧٢% من إجمالي مساحة محافظة القنفذة، والذي يشكل الفئة الخامسة واتضح ذلك من الجدول رقم (٦) والشكلين (٣٣، ٣٤).

جدول ٦. مساحة المواقع الملائمة لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة لعام ٢٠٢٤م.

التصنيف	المساحة (كم٢)	النسبة المئوية
ملاءمة منخفضة جداً	٤٩١,٩٧٦٧	٩,٥٣
ملاءمة منخفضة	١٣٠٠,٤١٧	٢٥,٢٠
ملاءمة معتدلة	٢٠٤٧,٠٠٥	٣٩,٦٧
ملاءمة مرتفعة	١١٨٠,٦٠٥	٢٢,٨٨
ملاءمة مرتفعة جداً	١٤٠,١٣٧٤	٢,٧٢
المجموع	٥١٦٠,١٤٢	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات شكل (٣٣).



شكل ٣٣. درجات الملاءمة المكانية بالقنفذة. **شكل ٣٤. المواقع المقترحة ذات الملاءمة المرتفعة جداً بالقنفذة.**

المصدر للأشكال: من إعداد الباحثة، اعتماداً على بيانات خريطة أمانة محافظة جدة ،٢٠٢٤م.

كانت الأولوية للمواقع ذات الملاءمة العالية جداً، فتم تحديد المعايير الأكثر أهمية لتحديد الموقع المناسب منها طبقاً لمساحة الموقع المناسب فمحطات خدمات الطاقة الشمسية تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأرض يسهل انشاء مهمات وحدات التوليد والمرافق والمنشأة والمباني الخاصة بالمحطات تحتاج الى أكثر من ٢٩٠٠٠٠ متر

مربع (مصيلحي،٢٠٠٧م،ص ١٤٢) يضاف الى ذلك العوامل المتعلقة بالخصائص الطبوغرافية مثل ان تكون المنطقة مستوية السطح وقرب المحطات من الطرق وشبكة الكهرباء، ثم البعد عن الأودية والنطاقات العمرانية والزراعية بمحافظة القنفذة. ووقع الموقع الأول في مركز سبت الجارة بمساحة ٤٠٠٠٠٠ متر مربع. وقد حقق أغلب الاشتراطات السابقة، يليه المواقع التي بلغت مساحاتها ٣٠٠٠٠٠ متر مربع فتقع في مركز ثلاثاء الخرم، وبلغ عددها ١٣ موقعاً حققت الاشتراطات السابقة، ولكن بعض هذه المواقع يقع بالقرب من ضفاف الأودية.

٦- النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها:

- أسهم استخدام الأسلوب متعدد المعايير في بيئة نظم المعلومات الجغرافية في جمع عدد كبير من المعايير ومعاينة أوزانها وتقديم نموذج دقيق مكن من الاعتماد عليه في تحديد مواقع مناسبة لمحطات خدمات الطاقة الشمسية في محافظة القنفذة.
- يتباين توزيع الظواهر المكانية ما بين طبيعية وبشرية انتشرت في الحيز المكاني بمحافظة القنفذة.
- توصلت الدراسة أن المعدل العام لقيم الإشعاع الشمسي الكلي الواصل إلى سطح الأرض في محافظة القنفذة من عام ١٩٨٤ إلى ٢٠٢٢م قد اتخذ اتجاهاً نحو التناقص في معدلة العام.
- تتلقى المنطقة الواقعة بالقرب من مركز أحد بني زيد في محافظة القنفذة كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي.
- أظهرت الدراسة أن أعلى منسوب لسطح الأرض يبلغ ٦٤٠ متر فوق مستوى سطح البحر يقع في شرق محافظة القنفذة.
- غلب الاستواء على ٩٨% من إجمالي سطح محافظة القنفذة لوقوعه بين جبال تهامة والبحر الأحمر، وتتراوح درجته ما بين صفر و٣ درجات.
- بينت الدراسة تماثل جميع اتجاهات الانحدار الرئيسة والفرعية في مساحاتها بمحافظة الفنفذة.
- يقطع سهل تهامة عدد من الأودية التي تجري من الشرق إلى الغرب وتصب في البحر الاحمر، وهي تجذب السكان كمنتزه في مواسم الأمطار.
- توصلت الدراسة إلى أن أشجار المانجروف الملحية المنتشرة على ساحل البحر الأحمر بمحافظة القنفذة لا تلائم تأسيس محطات الطاقة الشمسية.
- أثبتت الدراسة الميدانية أن أغلب القرى بمحافظة القنفذة تعاني من انقطاع التيار الكهربائي خلال سقوط الأمطار لمدد قد تستغرق عدة ساعات خلال اليوم.

- كشفت الدراسة أن مساحة النطاق العمراني في المحافظة مثلت ما نسبته ٤٠% من إجمالي مساحة المحافظة، وتبين انتشار المراكز العمرانية بالقرب من مسارات الأودية ومجاريها، وبالمنخفضات، وبالقرب من الطرق السريعة، وبالقرب من ساحل البحر الأحمر.
- أن كمية الإشعاع الشمسي يمثل بطبيعة الحال أكثر العوامل تأثيراً في اختيار المواقع المناسبة لمحطات خدمات الطاقة
- الشمسية؛ ثم العوامل المتعلقة بسطح الأرض كالانحدار، والارتفاع، واتجاه الانحدار. أما بقية العوامل فتأثيرها منخفض.
- تبين أن ما نسبته ٢,٧٢% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة مواقع ملائمة لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية وتقع في جنوب شرق مركز دوقة، وجنوب شرق مركز ثلاثاء الخرم، وشمال مركز سبت الجارة، وشمال شرق وشمال مركز أحد بني زيد، وشرق مدينة القنفذة، وجنوب غرب وجنوب خميس حرب.
- تبين أن المواقع التي تقع شرق محافظة القنفذة هي أفضل المواقع لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية
- لم تظهر نتائج الملاءمة أي موقع جنوب المحافظة لإقامة محطات لخدمات الطاقة الشمسية.

٧- الخاتمة والتوصيات

ان استخدام مصادر الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية امر مهم على مستوى الدولة فركزت الدراسة الحالية على تطبيق أسلوب متعدد المعايير في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتديد أفضل موقع للطاقة الشمسية في محافظة القنفذة وسعت الدراسة الى توضيح مجموعة من من التوصيات أهمها:

- تامل الباحثة أن يتم توسيع عدد من المعايير المكانية في التحليل المكاني لنموذج محافظة القنفذة مثل متوسط سرعة الرياح ومناطق الكثبان الرملية ودرجة الحرارة في الدراسات المستقبلية.
- توصي الدراسة بتقديم نموذج الملاءمة الذي تم تطويره لمحافظة القنفذة لمتخذي القرار لأخذه في الاعتبار خلال أعداد الخطط المستقبلية لخدمات الطاقة المتجددة في محافظة القنفذة.
- العمل على تحسين المعايير الاقتصادية من شبكة الطرق والشبكة الكهربائية في جنوب محافظة القنفذة للاستفادة من المساحات الكبيرة بها في اقتراح مواقع أخرى لإنشاء محطات لخدمات توليد الطاقة الشمسية.
- العمل على استغلال الإمكانيات الكبيرة غير المستغلة في محافظة القنفذة لإنتاج طاقة كهربائية متجددة بواسطة الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح أو طاقة مياه البحر.

- بث الوعي بين المواطنين لتبني إنشاء محطات طاقة شمسية منزلية، أو في المنشآت أو المزارع وغيرها.

شكر وتقدير

تقدم الباحثة كل الشكر والتقدير لجامعة جدة لدعمها هذا البحث برقم (UJ-25-DR-3043).

المراجع

أولا: المراجع العربية

أبا الخيل، أسماء عبد العزيز.٢٠٢٢م. منظور مقترح لمستقبل الوضع الإداري في محافظة القنفذة، *مجلة كلية الآداب، جامعة الملك سعود*، مج ٣٤، ع ٣، ص ص ٣-٢٦.

الجوفي، حسنة محمد وجميل، عبد الحميد محمد .٢٠٢٤م. أثر سد وادي حلي على المراكز المجاورة له في محافظة القنفذة، *المجلة المصرية للتغير البيئي*، مج ١٦، ع٥، ص ص ١-٢٦.

الحاجي زكية راضي وعلي، محمد السيد.٢٠٢١م. انتاج الكهرباء وثاره في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المملكة العربية السعودية، *مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية*، مج ٥، ع٣، ص ص ١٠٨-١٣٤.

داود، جمعة وآخرون .٢٠١٧م. تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعدد المعايير، *المؤتمر الحادي عشر لنظم المعلومات الجغرافية في المملكة العربية السعودية، جامعة الإمام عبد الرحمن بن فيصل، الدمام، المملكة العربية السعودية*.

رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠. ٢٠٢٣م. *التقرير السنوي لرؤية السعودية*، ص ص ١-١٨٣.

زايد، عبد الله وسعيد، محمد .٢٠٢١م. تأثير العامل الطبوغرافي في الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة بمنطقة الجلالة باستخدام نظم الاستشعار عن بعد، سلسلة بحوث جغرافية - ١٥٣، *الجمعية الجغرافية المصرية*، ص ص ١-٥٠.

الزعبي، سلام محمد .٢٠٢٠م. *تحديد أفضل مواقع لتوليد الطاقة الشمسية في محافظة البلقاء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية*، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة مؤتة، قسم الجغرافيا، الأردن.

الزهراني، أشواق محمد والجاسر، لميعة عبد العزيز.٢٠٢٢م. *الاستثمار الأمثل للطاقة المتجددة لتحقيق التنمية الإقليمية المستدامة في المملكة العربية السعودية وفق رؤية ٢٠٣٠*، مج٦، ع١٥، ص ١٣٠-١٤٣.

سعدي، فتيحة وآخرون .٢٠٢٣م. التنبؤ باستهلاك الكهرباء في المملكة العربية السعودية إلى غاية ٢٠٣٠- دراسة قياسية باستخدام منهجية بوكس وجنكيز، *مجلة الإدارة والتنمية للبحوث والدراسات*، مج١٢، ع ٢، ص ٢٩٤-٣١٢.

السيد، نورا رجب وآخرون .٢٠٢٣م. خريطة الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا نهج تطبيقي لأسلوب اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، *سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية*، ع١٨٥، ص ١ - ٥٩.

صبرينة، مسعودي وأمة الرحمان، لحرش .٢٠٢١م. دراسة تأثير سرعة الرياح على حمل العوالق وإثارة الغبار على الإشعاع الشمسي، *مجلة جامعة قاصدي مرباح ورقلة، كلية الرياضيات وعلوم المادة*.

عكاشة، هاجر سعد.٢٠٢١م. الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية الواقع والمأمول دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، *مجلة الدراسات التاريخية والاجتماعية جامعة نواكشط، كلية الآداب والعلوم الإنسانية*، ع٥١، ص٢٧٠ – ٢٩٥.

غرفة الرياض، مرصد قطاع دعم الأعمال.٢٠٢١م. *مؤشرات تطور قطاع الطاقة المتجددة بالمملكة العربية السعودية في ظل رؤية ٢٠٣٠*، ص ص١–٣٨

مجد، زينهم السيد، وشفطر، محمد سعد.٢٠٢٣م. الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في محافظة البحر الأحمر باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، *مجلة الدراسات الإنسانية، جامعة كفر الشيخ، كلية الآداب*، ع٢٨، ص ص ٩٦٧–٩٨٤.

مصيلحي، فتحي محمد.٢٠٠٧م. *جغرافية الخدمات الإطار النظري وتجارب عربية*، الطبعة الثانية، دار الماجد للنشر والتوزيع، القاهرة.

النعاس، جمال سالم.٢٠٢٠م. الطاقة المتجددة في ليبيا دراسة للطاقة الشمسية، *مجلة جامعة سرت*، مج١٠، ع٢، ص ص ص١–٣٢.

النعيمات، أحمد حسين والكساسبة، صالحة.٢٠٢٢م. تطبيقات تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في تحديد مواقع الطاقة الشمسية في محافظة معان الأردن، *مجلة العلوم الاجتماعية، جامعة الكويت، مجلس النشر العلمي*، مج ٥٠، ع ٣، ص ص ٢٢٣ – ٢٥٣.

الهيئة العامة للإحصاء.٢٠١٧م. *دليل الخدمات السادس عشر*، منطقة مكة المكرمة

الهيئة العامة للإحصاء.٢٠٢٢م. *إحصاءات الطاقة المتجددة*.

هيئة المساحة الجيولوجية السعودية.٢٠٢٠م. التقرير السنوي١٤٤١/١٤٤٢هـ.

هيئة تنظيم المياه والكهرباء.٢٠٢٢م. *الكتيب الاحصائي السنوي للكهرباء*، ص ١–١٢٤

وكالة ناسا، مشروع الطاقة،https://power.larc.nasa.gov ، تاريخ الحصول على البيانات ٢٠/١٠/ ٢٠٢٤م.

ثانيا: المراجع الأجنبية

- **Almalki, Muna and El-Morsy, Mohamed**.2021. Ecological and nutritional values of halophytes in the Al-Qunfudah, Saudi *Arabia, Journal of Umm Al-Qura University for Applied Science*, Vol 7(1), p 27-33.
- **Ba-Mousa, Abdullah** .2020. Multispectral and RADAR images integration for geologic, geomorphic, and structural investigation in southwestern Arabian Shield, Al Qunfudah area, Saudi Arabia, *Journal of Taibah University for Science*, vol 14 (1), p 383-401.
- **Gastlia, Adel and Charabi, Yassine**.2010. Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 14, pp. 790–797.
- **Islam, Rabiul, et al**. 2024. Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach, *Renewable Energy*, vol 220.
- **Merrounia, Alami, et al** .2014. CSP sites suitability analysis in the Eastern region of Morocco, *ScienceDirect Energy Procedia*, vol 49, pp. 2270 – 2279.
- **Safarianzengir, Vahid, et al**. 2022. Feasibility and Zoning of Establishing Solar Power, *The journal Frontiers in Energy Research*, vol10.
- **Sassi, Rekik and El Alimi, Souheil** .2023. Optimal wind-solar site selection using a GIS-AHP based approach: a case of Tunisia, Energy Conversion and Management: x, vol 18 (2).

- **Sulaiman, Aseem, and Elawadi, Eslam et al**.2018. Gravity interpretation to image the geologic structures of the coastal zone in al Qunfudah area southwest Saudi Arabia, Geophysical Journal International, vol. 214, pp 1623–1632.

Producing a Spatial Signature Map of Solar Energy services Sites, in Al-Qunfudah Governorate in the Emirate of Makkah Al-Mukarramah Region KSA, Using Geographic Information System (GIS)

Khaireah Ali Hasan Alshehabi

Department of Science, Physical Sciences, Geographic Information Systems Program, College of Science, University of Jeddah, Saudi Arabia

kaalshihabi@uj.edu.sa

Abstract: The present study targets for producing a spatial signature map of solar energy services sites, in Al-Qunfudah Governorate in the western part of the Kingdom of Saudi Arabia, in the Emirate of Makkah Al-Mukarramah Region. The study used the descriptive analytical method, and techniques including the comprehensive analytical Henrik hierarchical, Geographic Information Systems (GIS) for assessing similarities that include the climatic, geographic and environmental factors of the East, determining the locations and determining the network of solar power stations for electric power in Al-Qunfudah Governorate. The results reached in the present study indicated that the general elimination of the values of the total general radiation reaching the surface of the earth in Al-Qunfudah Governorate from 1984 to 2022 has gradually decreased at the annual rate. The present study revealed that many factors control the ideal sites of solar power stations; the most important is the degree of direct exposure to solar radiation, the earth's surface slope where it degrades in the governorate, from east to west at the Red Sea coast, the elevation of the earth's surface and the direction of the slope of the earth's surface. The rest of the factors are of low impact. It turns out that what we want to think about is 2.72% of the total reduction of the main sites of power stations where the neighborhood area is 140.1374 square kilometers and is capable of generating a larger amount of solar energy, especially in the center of Thulatha Al-Kharm, and the center of Sabt Al-Tijara, which is located east of Al-Qunfudah Governorate. The present study recommends the specialists work hand in hand with the authority of the governorate in making plans for establishing new energy sources in the governorate. Establishment of solar power generation services is of the most economic importance for road and the electricity networks in the south of Al-Qunfudah Governorate. The authority needs to choose many large places in other gathering sites to establish solar power generation services. Spreading awareness in the local community based on the use of home solar energy is of real importance as well. It is here to encourage the owners of agricultural lands to adopt using solar energy.

Keywords: Spatial Signature Map, Solar Energy Service Stations, Hierarchical Analysis, Geographic Information Systems (GIS).