

Applying the Penman-Monteith-FAO56 Model in the Estimation and Analysis of the Average Daily Solar Radiation During the Period 1985-2019 at Some Sites in Saudi Arabia

تطبيق نموذج بنمان-مونتايث في تقدير وتحليل المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي خلال الفترة 1985-2019 ببعض المواقع في المملكة العربية السعودية

Dr. Afnan Abdullatif Abdulrahman Al-mulhim^{1*}

د. افنان عبداللطيف الملحم^{1*}

¹Assistant Professor of Climatic Geography, Department of Geography, College of Arts, King Faisal University, Al-Ahsa, Saudi Arabia.

¹قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك فيصل، الأحساء، المملكة العربية السعودية

Received:23/12/2024 Revised:05/01/2025 Accepted: 07/01/2025

تاريخ التقديم: 2024/12/23 تاريخ ارسال التعديلات: 2025/01/05 تاريخ القبول: 2025/01/07

الملخص:

تحفد الدراسة إلى تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بتطبيق ستة نماذج (Hargreaves-Samani, 1982), (Bristow-Campbell, 1997) (Samani, 2000) (Allen, 1995), (Chen et al., 2006) and (Annandale et al., 2002) باستخدام البيانات اليومية لدرجات الحرارة اليومية العظمى والصغرى والمتوسطة المرصودة خلال الفترة 1985-2019 (35 سنة) بتسع محطات مناخية تابعة للمركز الوطني للأرصاد، هي (الرياض والقصومة وأبها وبريدة وتبوك والوجه وعرعر وطريف ونجران). وقد تمت معايرة تقديرات النماذج بواسطة نموذج Penman-Monteith-FAO56 بتطبيق 4 نماذج رياضية (PBias, MAE, RSR, RMSE)، بينما تم تطبيق طريقة المتوسطات النصفية لتحليل اتجاه التغير العام لدرجات الحرارة وفحص أهميتها الإحصائية بواسطة اختبار ت-ستودنت student. وأظهرت نتائج الدراسة وجود تباينات هامة في التوزيع المكاني للإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة المصاحبة له، بحيث تراوحت الفروق بين 5.2 و 8.4 ميغاجول/م²/يوم لنموذج Allen، وبين 7.0 و 9.3 ميغاجول/م²/يوم لنموذج H-S، وبين 10.6 و 20.5 ميغاجول/م²/يوم لنموذج Samani، وبين 5.7 و 8.2 ميغاجول/م²/يوم لنموذج Annandale، وبين 3.0 و 8.9 ميغاجول/م²/يوم لنموذج BC، وبين 6.7 و 11.5 ميغاجول/م²/يوم لنموذج Chen. كما أظهرت نتائج تقييم كفاءة التقدير أن أفضل النماذج هو نموذج Chen في محطات أبها والقصومة وبريدة ونموذج HS في محطتي الوجه ونجران ونموذج Allen في محطتي الرياض وعرعر ونموذج Annandale في محطة تبوك ونموذج Samani في محطة طريف. كما تبين أن الاتجاهات المتزايدة لدرجات الحرارة غير معنوية ولا تغطي بأية أهمية إحصائية خلال مختلف شهور السنة في جميع المحطات المناخية المدروسة.

الكلمات المفتاحية: درجة الحرارة، الإشعاع الشمسي، النموذج الإحصائي، الاتجاه العام للتغير، المملكة العربية السعودية.

Abstract:

The study provides an analysis of estimation of the average daily solar radiation, adopting six models, which are (Hargreaves-Samani, 1982), (Bristow-Campbell, 1997), (Samani, 2000), (Allen, 1995), (Chen et al., 2006) and (Annandale et al., 2002) using daily data of daily maximum, minimum and average temperatures observed during the period 1985-2019 (35 years) at nine climate stations affiliated to the National Center for Meteorology, namely (Riyadh, Qaisumah, Abha, Buraydah, Tabuk, Al-Wajh, Arar, Tareef and Najran). The above statistical approaches were calibrated using the Penman-Monteith-FAO56 model as recommended by the food and agriculture organization of the United Nations, the efficiency of these models' estimates was assessed using four statistical metrics: pBias, MAE, RSR, and RMSE. The results of the study showed significant differences in the spatial distribution of solar radiation and the as-associated temperatures, so that the differences P ranged between 5.2 and 8.4 MJ/m²/day for the Allen model, between 7.0 and 9.3 MJ/m²/day for the H-S model, between 10.6 and 20.5 MJ/ m²/day for the Samani model, and between 5.7 and 8.2 MJ/ m²/day for the Annandale model, and between 3.0 and 8.9 MJ/ m²/day for the BC model, and between 6.7 and 11.5 MJ/ m²/day for the Chen model. The results of the evaluation of the estimation efficiency also showed that the best models are the Chen model at Abha, Qaisumah and Buraydah stations, the HS model at Al-Wajh and Najran stations, the Allen model at Riyadh and Arar stations, the Annandale model at Tabuk station and the Samani model at Tarif station. It was also clear that the increasing temperature trends are not significant and do not have any statistical significance during the various months of the year at all the studied climatic stations.

Keywords: Temperature, solar radiation, statistical model, general trend of change, Saudi Arabia.

المقدمة:

لدرجات الحرارة موزعةً على بعض مناطق المملكة العربية السعودية مختلفة التباين التضاريسي.

الدراسات السابقة

تناولت بعض الدراسات موضوع الإشعاع الشمسي على مستوى المملكة العربية السعودية، ونذكر منها:

- دراسة (Aljohani, Z et al., 2023) بعنوان "Assessment of Solar Energy Availability and its potential Applications in NEOM Region" والتي تناولت مدى توافر الطاقة الشمسية في منطقة نيوم على أساس كمي ونوعي، وقد تم جمع قاعدة بيانات للظروف الجوية مثل درجة الحرارة وسرعة الرياح ومعالجتها. كشفت الدراسة بأن تتمتع نيوم بظروف مناخية مواتية لأهداف الدراسة مع متوسط طاقة إشعاع سنوي يبلغ 12.54 جيجا جول/م² وسرعة رياح 15.68 كم / ساعة ودرجات حرارة تتراوح من 16 إلى 38 درجة مئوية. وبناءً على البيانات التي تم تحليلها، بحثت الدراسة في إمكانيات الطاقة الشمسية كمصدر مستدام وبديل للوقود الأحفوري التقليدي. خلصت الدراسة إلى إمكانية تطبيق استخدام الطاقة الشمسية بطرق مختلفة بما في ذلك تحلية مياه البحر بترطيب وإزالة الرطوبة (HDH) بإنتاجية 26-33 لترًا /يوم/م²، والتبريد الشمسي بمتوسط حمل 15 ميغا جول / يوم /م²، وإنتاج الهيدروجين الأخضر بمعدل 41-47 مول / يوم / م²، وتوليد الطاقة الكهربائية بمعدل 4.2-6.8 ميغا جول / يوم / م².

- تناولت (آل مشيط في عام 2021) دراسة بعنوان "تحليل التباين المكاني للمتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المرتبطة به لعام 2017 في مناطق مختارة من المملكة العربية السعودية" والتي هدفت إلى تقدير المتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي خلال سنة 2017 بتطبيق نموذج (هارجريفز-سماني) عن طريق تحليل تباين التوزيع المكاني لعدد ساعات السطوع الشمسي والمدى الحراري والإشعاع الشمسي اليومي بهدف الوصول إلى تحليل علاقة الارتباط بين الإشعاع الشمسي من جهة وهذه العناصر من جهة أخرى. تبين أنّ متوسط الإشعاع الشمسي يتزايد بمعدل 0.5 ميغا جول/م²/يوم من الشمال إلى الجنوب وأن الإشعاع الشمسي اليومي الأدنى لا يتعدى 20 ميغا جول/م²/يوم في حين يصل الإشعاع الشمسي اليومي الأقصى إلى 35.5 ميغا جول/م²/يوم، كما كشفت الدراسة إلى أن الساحل الغربي يتسم بأدنى معامل ارتباط للعلاقة بين درجة الحرارة القصوى والمدى الحراري وعدد ساعات السطوع الشمسي من جهة والإشعاع الشمسي اليومي من جهة أخرى، في حين أن الساحل الشرقي يتسم بأعلى معامل ارتباط للعلاقة بين درجة الحرارة القصوى وعدد ساعات السطوع من جهة والإشعاع الشمسي اليومي من جهة ثانية، بينما تميزت المنطقة

تتسم معدلات درجات الحرارة باتجاهاتٍ متزايدةً على مستوى العديد من مناطق العالم، وتشكّل المصدر الأساسي للطاقة المتجددة على سطح الأرض، وتتأثر العمليات الحيوية والكيميائية والبيولوجية للكائنات الحية والإنسان بتوزيع الإشعاع الشمسي، كما تتأثر عناصر الطقس (درجات الحرارة، الرطوبة الجوية، الضغط الجوي، الرياح....) مباشرةً بتوزيع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض. يعتبر الإشعاع الشمسي الطاقة البديلة الأكثر ملاءمة للبيئة خاصة بالمناطق الجافة وشبه الجافة، ويتوقع الكثير من علماء المناخ أن يكون الإشعاع الشمسي أفضل مصادر الطاقة النظيفة في المستقبل وأقلها إفرازاً لانبعاث غاز الكربون المتسبب في ظاهرة الاحتباس الحراري. ومن هذا المنظر يعتقد المهتمون بالنظم البيئية أن يكون الإشعاع الشمسي الطاقة البديلة الأكثر ملاءمة للتنمية المستدامة وللنظم البيئية المرتبطة بها.

تتميز أراضي المملكة العربية السعودية باستقبال طاقة شمسية هائلة؛ نظراً لوقوعها ضمن النطاق المداري الصحراوي، وبالرغم من كونها من أهم الدول المنتجة للنفط على مستوى العالم، إلا أنها ومع التقدم الصناعي والتكنولوجي أصبحت دولة مستهلكة للطاقة الكهربائية بشكل كبير وذلك نتيجة الطلب المتزايد عليها، فكان لا بد من استغلال الطاقة الشمسية كطاقة بديلة ومساندة ونظيفة للبيئة.

مشكلة الدراسة

تفتقر محطات المركز الوطني للأرصاد في المملكة العربية السعودية إلى وجود بيانات محطات أرضية لقياسات الإشعاع الشمسي على مستوى المملكة العربية السعودية، ومن هذا المنطلق عملت الباحثة على تطبيق نموذج بنمان - مونتايث لتقدير كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى بعض محطات المملكة.

تكمن أهمية الدراسة في كونها مساهمة بحثية إضافية لتقدير وتحليل الإشعاع الشمسي بمناطق المملكة في غياب القياسات الفعلية بالمحطات المناخية، إضافة إلى إمكانية تقييم كفاءة أداء النماذج المناخية المدروسة في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بتطبيق نموذج بنمان - مونتايث Penman-Monteith-FAO56 الذي تعتبره هيئة التغذية والزراعة للأمم المتحدة بديلاً للقياسات الفعلية لقدرته العالية في تقديم تقديرات دقيقة للإشعاع الشمسي بمختلف النطاقات المناخية للكورة الأرضية (Karaman et al., 2021).

هدف الدراسة

تهدف الدراسة إلى تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بواسطة 6 نماذج إحصائية ومعايرتها عن طريق نموذج بنمان الذي توصي به منظمة التغذية والزراعة للأمم المتحدة وذلك بالاعتماد على البيانات اليومية

الشهري بالإضافة إلى مقارنة لكميات الاشعاع الشمسي اليومي التي تم تقديرها من عدة مصادر على مستوى عدة محطات بالمملكة العربية السعودية. توصلت الدراسة إلى تقدير الاشعاع الشمسي اليومي الأقصى والمتوسط والأدنى بالمحطات المذكورة من يناير 1981م إلى يونيو 1990م.

تعدُّ الدراسات العربية للإشعاع الشمسي قليلة مقارنة مع غيرها من الدراسات الأجنبية، ونذكر منها ما يلي:

– دراسة (العميدي، مروة وآخرون في عام 2017) بعنوان "تحليل التباين المكاني والزمني لقيم الإشعاع الشمسي في العراق" والتي هدفت إلى تحديد العلاقة بين الإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة في قيمه. أجري البحث على خمسة محطات في الفترة (1980-2015). توصلت الدراسة إلى أنَّ المعدلات السنوية للإشعاع الشمسي الخارجي في منطقة الدراسة بين (29,56 – 37,83) ميغاجول/م²/يوم، بينما تراوحت المعدلات السنوية للإشعاع الشمسي الكلي بين (17,96-19,66) ميغاجول/م²/يوم، كما أظهرت الدراسة إلى وجود علاقة ارتباط طردية بين كل من الإشعاع الشمسي وزاوية سقوط الإشعاع الشمسي، ساعات السطوع الفعلي والنظري، شفافية الجو، العواصف الغبارية، الغبار العالق، بينما يرتبط الإشعاع الشمسي ارتباط عكسي مع الرطوبة النسبية، التغييم، الضباب.

– دراسة (مجيد في عام 2008) بعنوان "العلاقة المتداخلة بين الإشعاع الشمسي والغيوم في مدينة الموصل" التي أظهرت أن الاتجاه العام للسلسلة الزمنية 1980-2008م للمعدلات اليومية للإشعاع الشمسي اتجاهًا بسيطاً نحو التناقص، في حين أظهرت المعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الساقط على السطح الأفقي اتجاهًا بسيطاً نحو الزيادة. توصلت هذه الدراسة إلى تحديد قيم معامل الارتباط بين المعدلات الشهرية لإجمالي الإشعاع الشمسي من جهة وكل من درجة التغييم وعدد ساعات السطوع الشمسي والرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء والأمطار والتبخر من جهة أخرى بما يعادل 0.82 و 0.92 و 0.95 و 0.97 و 0.90 و 0.90 على التوالي، كما تم في هذه الدراسة تصميم نموذج رياضي أول لتقدير إجمالي الإشعاع الشمسي الساقط على السطح الأفقي لمدينة الموصل يعتمد على الرطوبة النسبية ودرجة التغييم ونموذج رياضي ثاني يعتمد على الفرق في درجات الحرارة العظمى والدنيا ودرجة التغييم والرطوبة النسبية.

كما تناولت بعض الدراسات موضوع الإشعاع الشمسي على المستوى العالمي ونذكر منها:

– دراسة (Jamil et al., 2016) بعنوان "Estimation of Solar Radiation and Optimum Tilt Angles for South-facing surfaces in Humid Subtropical Climatic Region of India" التي تناولت تقدير الإشعاع الشمسي وزوايا

الوسطى بأعلى معامل ارتباط بين الإشعاع الشمسي اليومي والمدى الحراري.

– دراسة (Dasari HP, et al., 2019) بعنوان "High-resolution assesment of Solar Energy Resources Over the Arabian Peninsula" والتي هدفت إلى تقييم مكاني وزماني عالي الدقة لموارد الطاقة الشمسية فوق شبه الجزيرة العربية من خلال بيانات إعادة التحليل على مدار 38 عامًا (1980-2017) بواسطة نموذج محاكاة في المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة. تم استخدام 46 محطة إشعاع في الموقع فوق المملكة العربية السعودية لمدة أربع سنوات (2013-2016). توصلت الدراسة إلى أنَّ متوسط إجمالي GHI السنوي (DNI) عبر AP من 6000 إلى 8500 Whm⁻² (3000 إلى 6500 Whm⁻²) مع اختلافات موسمية كبيرة. تعد السحب فوق AP الشمالي في الشتاء وحمل الهباء الجوي بسبب غبار الصحاري فوق AP المركزي والجنوبي في الصيف هي العوامل الرئيسية التي تدفع إلى تباين DHI، كما تعدّ تأثيرات الغبار والسحب أكثر وضوحًا في التباين اليومي لمعدلات الإشعاع الشمسي، كما توصلت الدراسة إلى تحديد المناطق الواقعة بين جنوب شرق وشمال غرب المملكة العربية السعودية باعتبارها المناطق الأكثر ملاءمة لاستغلال الطاقة الشمسية مع وجود حد أدنى من الغطاء السحابي فوق المنطقة.

– دراسة (Zell et al., 2015) بعنوان "Assessment of Solar Radiation Resources in Saudi Arabia" التي تعنى بتقدير الإشعاع الشمسي خلال الفترة من أكتوبر 2013م إلى سبتمبر 2014م بمجموع 30 محطة بالمملكة العربية السعودية تشرف عليها مدينة الملك عبد الله للطاقة (K.A.CARE). تم تحليل الإشعاع الشمسي باستخدام قياسات الإشعاع الأفقي (GHI) والإشعاع المبعثر (DHI) والإشعاع المباشر (DNI). توصلت هذه الدراسة إلى تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي المتوسط الأفقي بما يعادل 5700 واط/ساعة/يوم إلى 6700 واط/ساعة/يوم، بينما تراوح المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي المباشر بين 4400 واط/ساعة/يوم وأكثر من 7300 واط/ساعة/يوم، كما تبين أنَّ الإشعاع الشمسي يتزايد بالشمال الغربي للمملكة ويصل إلى 6474 واط/ساعة/يوم بالمناطق الغربية ولا يتعدى 5510 واط/ساعة/يوم بالمناطق الشرقية.

– دراسة (Stewart et al., 1993) بعنوان "Solar Radiation In Saudi Arabia" التي تناولت دراسة الإشعاع الشمسي بمحطات الرياض والقيصومة والظهران باستخدام تقنيات مركز التطبيقات البيئية ETAC التابع لمصلحة الارصاد الجوي للقوات المسلحة الأمريكية. استعرضت هذه الدراسة نتائج تقدير الإشعاع الشمسي المتوسط والأدنى والأقصى لفترات زمنية تمتد من ساعتين إلى 15 ساعة/يوم ونتائج التوزيع التكراري للإشعاع الشمسي

خلال بيانات معاد تحليلها أو من خلال نماذج مستخلصة من بيانات أقمار صناعية أو من خلال نماذج تقديرية. وتختلف هذه الدراسة عن سابقاتها بأنها تقدم تحليلاً لتقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بواسطة 6 نماذج هي: (Samani, (Bristow-Campbell, 1997), (Allen, 1995) and (Chen et al., 2006), (Annandale et al., 2002), كما تمت معايرة تقديراتها بواسطة نموذج Penman-Monteith-FAO56 الذي توصي به منظمة التغذية والزراعة للأمم المتحدة و بتطبيق 4 نماذج رياضية (PBias, MAE, RSR, RMSE).

منهجية الدراسة

تعتمد منهجية هذه الدراسة على الخطوات العملية التالية:

منطقة الدراسة

تتوزع المحطات المناخية المدروسة على أراضي المملكة العربية السعودية المحصورة بين دائرتي العرض 17° و 31° شمالاً، وبين خطي الطول 36° و 48° شرقاً (شكل 1).

وتتمثل هذه المحطات المناخية التباين التضاريسي للمملكة العربية السعودية من السهول الساحلية والأودية والمرتفعات الجبلية الممتدة على ارتفاعات تتراوح بين خط الساحل و3000 متر بالمرتفعات الجنوبية الغربية، وتنوع هذه التضاريس بين سهول تحامة الممتدة بين ساحل البحر الأحمر والمرتفعات الغربية لجمال الحجاز، والهضاب الداخلية، والصحاري. تتسم هذه التضاريس بمناخ جاف ودرجات حرارة عالية وبمعدلات مطرية متدنية وبشكل عام يتسم فصل الصيف بالجفاف وبارتفاع درجات الحرارة (27° - 43° بالمناطق الداخلية) و (27° - 33° بالمناطق الساحلية). كما يتسم فصل الشتاء بانخفاض درجات الحرارة (8° - 20° بالمناطق الداخلية) و (19° - 29° بالمناطق الداخلية). ويصاحب هذه المعدلات الحرارية معدلات مطرية لا تتعدى 150 ملم/سنة بمختلف مناطق المملكة، عدا المرتفعات الجنوبية الغربية التي تتراوح فيها معدلات الامطار بين 400 و600 ملم/سنة (Chowdhury & Zahrani, 2013).

الميل المثلى للسطوح المواجهة للجنوب بالمنطقة شبه الاستوائية الرطبة بالهند لفترة 3 سنوات تم من خلالها تحديد زوايا الميل المثلى الشهرية والفصلية والسنوية بمدنيتي دهلي الجديدة وأليجاره بما يعادل 27.62° و 27.95° على التوالي. تبين من خلال هذه الدراسة أن هناك زيادة في المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي المناسبة لزوايا الميل المثلى للسطح مقارنة مع مثيله المناسب للسطح الأفقي بما يعادل نسبة تتراوح بين 12.92% شهرياً و 11.61% فصلياً و 6.51% سنوياً بمدينة أليجاره وبما يعادل 13.13% شهرياً و 11.80% فصلياً و 7.58% سنوياً بمدينة دهلي الجديدة.

— دراسة (Al Dobhani, 2014) بعنوان “Effect of Altitude and Tilt angle on Solar Radiation in Tropical Regions” التي اعتمدت على تطبيق نموذج Hotel في تقدير الإشعاع الشمسي للسطح الأفقي وللسطح المائل الثابت وللسطح عند زاوية الميل المثلى في مناخ المناطق المدارية، كما تطرقت هذه الدراسة إلى تحليل تأثير الارتفاع على الإشعاع الشمسي وتحليل تباين هذا التأثير بمناطق تقع على ارتفاعات مختلفة، كما تناولت هذه الدراسة تحليل تأثير الكتلة الهوائية وميل الأشعة الشمسية على كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن العديد من المناطق المتضرسة لها تأثير في زاوية الميل المثلى للسطح خاصة خلال فترات الانقلاب الصيفي والشتوي، كما أن هناك تأثيرات كبيرة للارتفاع بالمنطقة المدارية الوسطى على زاوية ميل الأشعة الشمسية خلال فصل الصيف بسبب الانحراف الكبير لزاوية السميت إلى غاية 47° على السطح الأفقي في منتصف النهار.

وبمقارنة هذه الدراسة مع الدراسات السابقة لتقدير الإشعاع الشمسي ببعض المواقع، إذ تناولت الدراسات السابقة تأثير الغيوم على الإشعاع الشمسي، وبعضها ركز على الإشعاع الكلي الأفقي الساقط على السطح، وتناول بعضها تأثير ارتفاع وميل زاوية سقوط الأشعة الشمسية بالمناطق المدارية، وكذلك وتحديد زاوية الميل المثلى لسقوط الإشعاع الشمسي بالمناطق المدارية الرطبة. وبالتركيز على الدراسات التي تناولت المملكة العربية السعودية نجد أنها استعانت بتقديرات بيانات الإشعاع الشمسي من



شكل (1) خريطة موقع منطقة والتوزيع المكاني للمحطات المدروسة.

- 1- فحص حسن مطابقة توزيع درجات الحرارة للتوزيع الطبيعي بتطبيق اختبار كولموغوروف-سميرنوف Kolmogorov-Smirnov المناسب لحجم العينات الكبير (عدد القياسات أكبر من 30).
- 2- تحليل اتجاه التغير العام لدرجات الحرارة بتطبيق طريقة المتوسطات النصفية Semi-Averages method وإخضاعها لفحص الأهمية الاحصائية بتطبيق اختبار ت- ستودنت T-student.

جمع البيانات وفحصها

تعتمد منهجية هذه الدراسة على تحليل البيانات اليومية لدرجات الحرارة (المتوسطة والعظمى والصغرى) المرصودة خلال الفترة 1 يناير 1985 إلى 31 ديسمبر 2019 وذلك بمجموع 9 محطات مناخية هي: الرياض والقيصومة وأبها وبريدة وتبوك والوجه وعرعر وطريف ونجران (الجدول 1):

طبقت عدة أساليب إحصائية في معالجة وتحليل بيانات درجات الحرارة تتمثل في ما يلي:

جدول (1): المحطات المناخية المدروسة

الارتفاع (م)	خط الطول (L)	دائرة العرض (N)	رقم المحطة	المحطة
613	46°43'19"	24°55'31"	40437	الرياض
357	46°07'49"	28°19'08"	40373	القيصومة
2093	42°39'39"	18°13'59"	41112	أبها
646	43°46'03"	26°18'28"	40405	بريدة
768	36°36'25"	28°22'35"	40375	تبوك
23	36°28'37"	26°12'19"	40400	الوجه
548	41°08'26"	30°54'08"	40357	عرعر
852	38°44'22"	31°41'16"	40356	طريف
1212	44°24'49"	17°36'41"	41118	نجران

المصدر: المركز الوطني للأرصاد.

KG : ثابت يساوي 0.17 بالنسبة للمناطق الجافة وشبه الجافة، كما اقترحا هارقرينز وسماني 0.16 كقيمة لهذا المعامل للمناطق الداخلية و 0.19 للمناطق الساحلية.

نموذج آلان (1995) Allen

قُدِّر المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بتطبيق النموذج الرياضي التالي:

$$H_c = H_o [K\Gamma^{0.5} (T_{max} - T_{min})^{0.5}]$$

ويوصي آلان بإضافة معامل التصحيح KG بالاعتماد على ارتفاع المحطة من خلال تطبيق المعادلة التالية:

$$K\Gamma = A(P/1013)$$

وفيها يمثل P: متوسط الضغط الجوي عند المحطة (hPa)، و A: ثابت قدره 0.17 بالنسبة للمناطق الداخلية و 0.20 بالنسبة للمناطق الساحلية.

وعليه تكون المعادلة النهائية لنموذج آلان كالتالي:

$$H_c = H_o [A(P/1013)^{0.5} (T_{max} - T_{min})^{0.5}]$$

نموذج بريستو-كامبل (1997) Bristow-Campbell

قدم بريستو و كامبل نموذجاً رياضياً لتقدير متوسط الإشعاع الشمسي اليومي يعتمد على تطبيق المعادلة التالية:

$$H_c = H_o A [1 - \exp(-B \Delta T_c)]$$

وفيه يمثل ΔT : الفرق بين درجتي الحرارة العظمى والصغرى اليومية، ويمثل A: ثابت قدره 0.7، ويمثل C: ثابت قدره 2.4، ويمثل B: ثابت يساوي: $B = 0.036 \exp[-0.154 \Delta T(i)]$

نموذج سماني (2000) Samani

يعتمد هذا النموذج على تطبيق معادلة هارقرينز-سماني (Hargreaves-Samani, 1982) بتقدير معامل (KG) اعتماداً على المعادلة التي اقترحتها سماني (Samani, 2000) على النحو التالي:

$$K\Gamma = A(T_{max} - T_{min})^2 - B(T_{max} - T_{min}) + C$$

وفيها يمثل A:

$$A = 0.00185 (oC-2) \text{ و } B = (-0.04330) (oC-2) \text{ و } C = 0.4023 \text{ (unitless).}$$

نموذج أناندال وآخرون (2002) Annandale et al.

يعتمد هذا النموذج على تطبيق معادلة هارقرينز-سماني (Hargreaves-Samani, 1982) التي تم تطويرها بإدخال معامل التصحيح (A)، وتطبيق المعادلة التالية:

$$H_c = H_o A (1 + 2.7 \times 10^{-5} Z)(T_x - T_m)^{0.5}$$

وفيها يمثل Z: ارتفاع المحطة (م)، ويمثل A: معامل التصحيح والذي يساوي يساوي 0.263.

نموذج شان وآخرون (2006) Chen et al.

تقدير الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي

قُدِّر إجمالي الإشعاع الشمسي اليومي خارج الغلاف الجوي (H_o) بتطبيق المعادلة التالية: (Almorox et al., 2011)

$$H_o = (1/\pi) I_{sc} E_o [(Cos\lambda Cos\delta Sin\omega_s) (\pi / 180) Sin\lambda Sin\delta \omega_s]$$

وفيها يمثل:

Isc: الثابت الشمسي، والذي يساوي ($118.108 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

E_o : معامل التصحيح للمدار الأرضي، والذي يساوي:

$$E_o = 1.00011 + 0.034221 Cos\Gamma + 0.00128 Sin\Gamma + 0.00719 Cos2\Gamma + 0.000077 Sin\Gamma$$

وفيه يمثل Γ : زاوية اليوم الشمسي (radians)، والتي تساوي:

$$\Gamma = \frac{2\pi (nday - 1)}{365}$$

وفيها يمثل nday: الرقم الجولياني لليوم (بداية من 1 لأول يناير و 365 ليوم 31 ديسمبر).

λ : درجة العرض لموقع المكان (درجة).

δ : زاوية ميلان الأشعة الشمسية عن خط الاستواء (درجة)، والتي تساوي:

$$\delta = 180/\pi(0.006918 - 0.3999912 Cos\Gamma - 0.070257$$

$$Sin\Gamma - 0.006758 Cos2\Gamma + 0.000907 Sin2\Gamma - 0.002697$$

$$Cos3\Gamma + 0.00148 Sin3\Gamma$$

ω_s : زاوية الوقت الشمسي (درجة)، والتي تساوي:

$$\omega_s = Cos^{-1} \frac{(-Sin\lambda Sin\delta)}{Cos\lambda Cos\delta}$$

نماذج تقدير الإشعاع الشمسي

تلخص نماذج تقدير الإشعاع الشمسي التي تم تطبيقها في هذه الدراسة في ما يلي:

نموذج هارقرينز-سماني (1982) Hargreaves-Samani

قدم كل من هارقرينز وسماني في عام 1982 أول محاولة لتقدير الإشعاع الشمسي اليومي الساقط على سطح الأرض باستخدام درجات الحرارة اليومية العظمى والصغرى من خلال تطبيق النموذج الرياضي التالي:

$$H_c = H_o [K\Gamma (T_{max} - T_{min})^{0.5}]$$

وفيه يمثل:

H_c : تقدير متوسط الإشعاع الشمسي اليومي (ميغاجول/م²/يوم).

H_o : متوسط الإشعاع الشمسي اليومي خارج الغلاف الجوي (ميغاجول/م²/يوم).

T_{max} : درجة الحرارة اليومية العظمى (م°).

T_{min} : درجة الحرارة اليومية الصغرى (م°).

بحيث يمثل:

$$G_{sc}: \text{الثابت الشمسي وهو يساوي } (0.0820 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1})$$

d_r : معكوس المسافة النسبية بين الأرض والشمس وهي تحسب بتطبيق المعادلة التالية:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left[\frac{2\pi}{365} J \right]$$

θ : درجة عرض موقع المحطة المناخية (radians).

δ : درجة عرض الشمس (radians)، والتي تساوي:

$$\delta = 0.409 \sin \left[\frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right] \text{ (radians)}$$

بحيث يمثل: J الرقم الجولياني لليوم، ويمثل π عدد ثابت يساوي 3.1416.

وفي نهاية معادلة تقدير صافي الاشعاع الشمسي المرجعي، يمثل R_{nl} صافي الاشعاع من الموجات الطويلة، والذي يساوي:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{max}^4(K^\circ) - T_{min}^4(K^\circ)}{2} \right] [0.34 - 0.14\sqrt{e_a}] \left[1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right]$$

وفيها يمثل:

R_{nl} : صافي الاشعاع الشمسي من الموجات الطويلة ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$)

$T_{max}(K^\circ)$ و $T_{min}(K^\circ)$: درجتني الحرارة العظمى والصغرى الكالفينية.

σ : ثابت Stefan-Boltzmann، وهو يساوي:

$$\sigma = 4.903 * 10^{-9} \text{ (MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1})$$

R_{so} : كمية الاشعاع عندما تكون السماء صافية ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$)، والتي تساوي:

$$R_{so} = (0.75 + 2 * 10^{-5} z) R_a$$

وفيها يمثل Z ارتفاع موقع محطة الرصد (م).

e_a : ضغط بخار الماء الفعلي (KPa).

تقييم كفاءة التقدير للنماذج

طبقت ثلاثة معايير إحصائية لتقييم كفاءة النماذج المناخية المدروسة لتقدير الاشعاع الشمسي اليومي (جدول 2):

يعتمد هذا النموذج على تطبيق معادلة هارغريفز-سماني (Hargreaves-Samani, 1982) التي تم تطويرها بإدخال معامل (b)، وتطبيق المعادلة التالية:

$$H_c = H_o [(b) * \ln (T_x - T_m)]$$

وفيها يمثل b : معامل احصائي يساوي 0.28.

تقدير صافي الاشعاع الشمسي المرجعي

يتم تقدير إجمالي صافي الاشعاع الشمسي المرجعي لنموذج بنمان-مونتايث بتطبيق المعادلة التالية:

$$R_n \text{ (MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}) = R_{ns} + R_{nl}$$

بحيث يمثل R_{ns} : صافي الاشعاع الشمسي من الموجات القصيرة، ويتم حسابه بواسطة المعادلة التالية:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$$

وفيها يمثل:

R_{ns} : كمية الاشعاع من الموجات القصيرة ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$).

α : الأليبدو وهو يساوي العدد الثابت 0.23.

R_s : كمية الاشعاع الشمسي والتي تساوي:

$$R_s = \left(0.25 + 0.5 \frac{n}{N} \right) R_a$$

وفيها يمثل:

n : عدد ساعات السطوع الشمسي الفعلي (ساعة) وهي التي تحسب بواسطة ω_s التي تمثل زاوية ساعة غروب الشمس بتطبيق المعادلة التالية:

$$n = \frac{2}{15} \omega_s$$

N : طول النهار (ساعات) والذي يساوي يساوي:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

وفيها يمثل π : العدد الثابت 3.1416 و ω_s زاوية ساعة غروب الشمس.

R_a : كمية الاشعاع الشمسي الخارجي، والتي تساوي:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin \theta \sin \delta + \cos \theta \cos \delta \sin \omega_s]$$

جدول 2: نماذج تقييم كفاءة نماذج تقدير درجات الحرارة بالمحطات المناخية المدروسة.

المصدر	مستوى الدلالة		معادلة التقدير	النموذج
	تمتاز	PBias < ± 10		
(Legates & McCabe., 1999)	جيد	± 10 ≤ PBias < ± 15	$\%PBias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{X_i - Y_i}{X_i} \times 100$	PBias
	متوسط	± 15 ≤ PBias < ± 25		
	ضعيف	PBias ≥ ± 25		
	تمتاز	0.00 ≤ RSR ≤ 0.50		
(Moriazi et al., 2007)	جيد	0.50 < RSR ≤ 0.60	$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}')^2}}$	RSR
	متوسط	0.60 < RSR ≤ 0.70		
	ضعيف	RSR > 0.70		
	تمتاز	0.00 ≤ RSR ≤ 0.50		
(Phogat et al., 2016)	القيمة المعيارية 0 تدل على التطابق التام بين القيمة الفعلية والقيمة المحسوبة، وعليه كلما انخفضت قيمة هذين المعيارين كلما دلت على جودة كفاءة نموذج التقدير.		$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 (Y_i - Y')^2 \right]^{0.5}$	RMSE
(Liu et al., 2022)			$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n Obs_i - SIM_i }{n}$	MAE

*Note: PBias : Percent Bias model, RSR : RMSE-observations standard deviation ratio model, RMSE : Root Mean Square Error model, Mean Absolute Error model.

بحيث يمثل n عدد الأزواج المستخدمة في السلسلة الزمنية المطرية، وتكون قيمة معامل الارتباط معنوية إذا كانت قيمة الاختبار المحسوبة أكبر من القيمة الحرجة (الجدولية) عند مستوى الدلالة 0.05 ودرجة الحرية المطلوبة.

في المرحلة التالية، تم تحديد الأهمية الإحصائية لمعامل الارتباط (r) بين القيم المرجعية لنموذج بنما-مونتايث (PM) والقيم التقديرية لأفضل نموذج بكل محطة، باستخدام فحص t ستودنت (t_r) بتطبيق المعادلة الآتية:

$$t_r = \frac{|r(n-2)^{0.5}|}{(1-r^2)^{0.5}}$$

وتقارن قيمة (t_r) المحسوبة بهذه العلاقة مع قيمة (t) المجدولة عند مستوى الأهمية الإحصائية 0.05 وعند درجة الحرية المناسبة. تحسب درجة الحرية بتطبيق المعادلة الآتية:

$$d.f = n - 2$$

النتائج والمناقشة

تمت مناقشة النتائج في عدة محاور يمكن عرضها كالآتي:

تحليل الخصائص الإحصائية لدرجات الحرارة

يستعرض (الجدول 3) تباينات درجات الحرارة من محطة إلى أخرى، ويمكن تحليلها كالآتي:

جدول 3: المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى خلال الفترة 1985-2019.

أبها			الرياض			القيصومة			الشهر
T _{mean}	T _{max}	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	T _{min}	
13.5	19.9	7.9	13.7	20.5	7.2	11.8	18.4	6.2	يناير
13.5	19.9	7.9	16.4	23.4	9.5	14.5	21.5	8.1	فبراير
17.1	23.4	11.5	20.8	27.8	13.7	19.4	26.8	12.5	مارس
19.0	25.7	13.2	26.2	33.3	18.7	25.7	33.3	18.4	أبريل
21.8	29.0	15.3	32.2	39.5	23.9	32.2	39.8	24.2	مايو
23.9	31.3	17.1	34.8	42.6	25.6	35.6	43.4	26.9	يونيو
23.6	30.9	17.6	36.0	43.8	26.8	37.2	45.0	28.6	يوليو
23.0	30.7	17.0	35.9	43.7	26.7	37.2	45.3	28.7	أغسطس
22.4	29.7	15.3	32.5	40.6	23.2	33.6	42.0	25.1	سبتمبر
19.0	26.3	12.0	27.3	35.5	18.5	27.9	36.2	20.4	أكتوبر
15.9	23.1	9.3	20.3	27.5	13.2	19.1	26.2	12.9	نوفمبر
14.1	21.1	7.5	15.2	22.1	8.6	13.4	20.1	7.7	ديسمبر
الوجه			بريدة			تبوك			الشهر
T _{mean}	T _{max}	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	T _{min}	
19.0	24.4	13.5	13.0	19.8	6.6	11.1	18.3	4.4	يناير
19.9	25.2	14.4	15.6	22.9	8.5	13.5	20.9	6.3	فبراير
22.0	27.3	16.6	20.0	27.3	12.6	17.6	25.2	10.0	مارس

الشهر	نجران			عرعر			طريف		
	T _{mean}	T _{max}	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	T _{min}
أبريل	14.7	30.5	22.7	17.8	33.0	25.4	19.7	29.9	24.9
مايو	19.0	34.7	26.9	23.1	39.0	31.3	22.5	32.1	27.4
يونيو	22.0	37.9	30.2	25.2	42.5	34.4	23.8	33.2	28.7
يوليو	24.0	39.2	31.7	26.2	43.6	35.6	25.3	34.3	30.0
أغسطس	24.2	39.5	31.8	26.7	44.0	35.9	25.9	34.6	30.4
سبتمبر	21.3	37.1	29.1	23.7	41.3	32.8	24.4	33.5	29.1
أكتوبر	16.7	32.1	24.2	18.9	35.9	27.4	22.4	29.0	24.6
نوفمبر	10.7	25.0	17.5	13.1	27.2	19.9	17.7	24.3	19.1
ديسمبر	5.8	19.8	12.4	8.3	21.7	14.7	15.4	26.4	20.8
يناير	9.0	25.7	17.6	3.5	15.9	9.1	1.8	13.3	7.3
فبراير	11.9	28.7	20.6	5.3	18.5	11.6	3.2	15.6	9.3
مارس	15.8	31.7	24.0	9.3	23.5	16.4	6.7	20.1	13.4
أبريل	18.8	34.0	26.6	14.9	29.8	22.3	11.4	25.8	18.8
مايو	21.5	37.2	30.1	20.2	35.4	27.9	16.0	30.9	23.8
يونيو	22.8	39.1	31.9	23.7	39.8	32.1	19.1	35.0	27.6
يوليو	25.4	39.6	33.2	26.0	42.1	34.4	21.1	37.2	29.6
أغسطس	24.7	39.4	32.7	26.1	42.4	34.6	21.2	37.3	29.6
سبتمبر	20.8	37.0	29.7	22.5	38.9	30.7	18.6	34.6	26.8
أكتوبر	15.6	32.3	24.6	17.2	32.4	24.4	14.2	28.8	21.4
نوفمبر	12.3	28.4	20.7	9.9	23.1	16.0	7.6	20.4	13.7
ديسمبر	9.5	26.0	17.9	5.0	17.4	10.6	3.2	15.1	8.8

وفحص تجانس التباين بتطبيق اختبار هارتلي (Fmax-ratio). أظهرت نتائج اختبار كولموغوروف-سميرنوف أن قيم مستوى الدلالة لتوزيع درجات الحرارة العظمى والصغرى والمتوسطة جاءت كلها أصغر من القيمة الحرجة 0.05 بجميع المحطات عند مختلف درجات الحرية. وبالتالي فهي تدل على أن توزيع بيانات درجات الحرارة العظمى والصغرى والمتوسطة يختلف عن التوزيع الطبيعي بجميع المحطات. كما أظهرت نتائج اختبار هارتلي أن قيم معامل (Fmax-ratio) المحسوبة جاءت أصغر من نظيرتها الجدولية (الحرجة) بجميع المحطات، وهي تدل على أن تباين توزيع درجات الحرارة العظمى والصغرى والمتوسطة متجانس خلال الفترة 1985-2019 في جميع المحطات.

تحليل اتجاهات التغير العام لدرجات الحرارة

يستعرض (الجدول 4) و (الجدول 5) التغير العام لدرجات الحرارة العظمى والصغرى، ويمكن تحليلها كالآتي:

يتضح أنّ درجات الحرارة تتباين من شهر لآخر، إذ يصل متوسط درجات الحرارة العظمى أقصاه خلال شهر يونيو بما يعادل 23.9 م° في أهما، وخلال شهر يوليو بما يعادل 43.8 م° في الرياض و 39.6 م° في نجران وخلال شهر أغسطس بما يعادل 45.3 م° في القيصومة و 34.6 م° في الوجه و 44.6 م° في بريدة و 39.5 م° في تبوك و 375.3 م° في طريف و 42.4 م° في عرعر، وتعتبر هذه الشهور هي أحرّ شهور السنة في كل محطة، بينما يصل متوسط درجات الحرارة الصغرى أدناه خلال شهر ديسمبر بما يعادل 7.5 م° في أهما، وخلال شهر يناير بما يعادل 7.2 م° في الرياض و 6.2 م° في القيصومة و 13.5 م° في الوجه و 6.6 م° في بريدة و 4.4 م° في تبوك و 1.8 م° في طريف و 3.5 م° في عرعر و 9.0 م° في نجران.

وللتأكد من هذه التباينات تم فحص حسن مطابقة توزيع درجات الحرارة العظمى والصغرى والمتوسطة للتوزيع الطبيعي بتطبيق اختبار كولموغوروف-سميرنوف Kolmogorov-Smirnov المناسب لحجم العينات الكبيرة

جدول 4: نتائج فحص الأهمية الاحصائية للفرق بين المتوسطين النصفيين لدرجات الحرارة العظمى خلال الفترة 1985-2019

المتغير	أهما	بريدة	القيصومة	الرياض	الوجه	تبوك	طريف	عرعر	نجران
X' ₁	25.0	31.6	32.1	33.2	29.5	29.5	25.7	28.8	32.2
Sd ₁	4.6	9.3	10.3	9.2	4.5	8.3	9.4	10.1	5.8
Var ₁	21.1	86.7	105.9	83.8	20.5	69.7	89.0	102.3	33.3
X' ₂	26.6	34.2	33.9	33.6	30.8	30.4	26.7	30.7	33.9
Sd ₂	4.4	9.3	10.4	9.0	4.2	8.2	9.5	10.2	5.7
Var ₂	19.5	86.6	107.2	81.3	17.7	67.1	89.7	104.0	32.8
X' ₂ -X' ₁	1.6	2.6	1.8	0.4	1.2	0.9	1.0	1.9	1.7
T' ₁	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5
T' ₂	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011

المتغير	أبها	بريدة	القيصومة	الرياض	الوجه	تبوك	طريف	عرعر	نجران
B	0.09	0.15	0.11	0.02	0.07	0.05	0.06	0.11	0.10
SE	1.5	3.1	3.5	3.1	1.5	2.8	3.2	3.4	1.9
2SE	3.0	6.3	7.0	6.1	3.0	5.6	6.4	6.9	3.9
Tc	1.021	0.840	0.530	0.129	0.837	0.333	0.316	0.545	0.889
Tt	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645
الأهمية	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي

الجدول 5: نتائج فحص الأهمية الاحصائية للفرق بين المتوسطين النصفين لدرجات الحرارة الصغرى خلال الفترة 1985-2019

المتغير	أبها	بريدة	القيصومة	الرياض	الوجه	تبوك	طريف	عرعر	نجران
X' ₁	12.0	16.8	17.6	17.4	19.6	14.0	11.4	14.4	16.9
Sd ₁	3.9	7.6	8.3	7.5	4.9	7.4	7.5	8.5	6.1
Var ₁	14.9	57.1	69.6	55.9	24.3	54.1	55.6	71.5	37.2
X' ₂	13.2	18.1	18.7	18.6	20.8	15.5	12.6	15.8	17.6
المتغير	أبها	بريدة	القيصومة	الرياض	الوجه	تبوك	طريف	عرعر	نجران
Sd ₂	4.1	7.9	8.8	7.8	4.8	7.7	7.8	8.7	6.2
Var ₂	16.8	62.9	77.6	60.2	22.7	58.6	60.9	76.2	39.0
X' ₂ -X' ₁	1.2	1.3	1.2	1.3	1.1	1.5	1.1	1.3	0.7
T' ₁	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5	1993.5
T' ₂	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011
B	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06	0.08	0.04
SE	1.3	2.6	2.9	2.6	1.6	2.5	2.6	2.9	2.1
2SE	2.7	5.2	5.8	5.2	3.3	5.1	5.2	5.8	4.2
Tc	0.894	0.485	0.400	0.486	0.697	0.572	0.437	0.459	0.314
Tt	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645	1.645
الأهمية	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي	غير معنوي

طبقت طريقة المتوسطات النصفية Semi

(1985-2002) و (2003-2019) كمؤشر حقيقي عن التغير المناخي بمنطقة الدراسة.

تقدير وتحليل تغيرات الإشعاع الشمسي

يتباين المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي من شهر لآخر ومن محطة لأخرى، ويستعرض (الجدول 6) و (الشكل 2) التغير العام لها والتي يمكن تحليلها كالآتي:

Averages method - مع إخضاعها لفحص الأهمية الاحصائية (ت-ستودنت) T-student للتأكد من معنوية الاتجاهات المحسوبة لدرجات الحرارة العظمى خلال مختلف شهور السنة، ويتضح أنّ قيم اختبار (ت-ستودنت) جاءت كلها أصغر من القيمة الجدولية الحرجة 1.645 في جميع المحطات، وعليه فإن هذه النتيجة تدل على أنّ اتجاهات درجات الحرارة العظمى والصغرى المتزايدة خلال الفترة 1985-2019 غير معنوية ولا تحظى بأية أهمية احصائية. ومن ما تقدم، فإنه من الصعب الاستدلال بالزيادة الحاصلة لدرجات الحرارة اليومية للفترتين النصفيتين

الجدول 6: التغيرات الشهرية للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي (ميغا جول/م²/يوم) خلال الفترة 1985-2019.

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
النموذج	أبها											
H-S	16.2	16.3	20.4	21.9	24.5	24.2	23.4	23.2	21.7	20.1	16.8	16.0
Allen	14.3	14.5	18.1	19.4	21.7	21.4	20.7	20.6	19.2	17.8	14.4	14.2
Sam	16.9	16.4	19.8	20.7	23.6	23.8	22.2	22.4	21.4	19.8	16.8	16.8
Ann.	14.3	14.4	18.0	19.3	21.6	21.4	20.7	20.5	19.2	17.7	14.9	14.1
BC	15.8	16.1	20.6	22.6	25.7	25.3	24.6	24.3	22.8	20.9	17.4	16.1
Chen	17.7	18.0	22.5	24.1	26.9	26.5	25.7	25.5	23.7	21.9	18.4	17.5
النموذج	الرياض											
H-S	14.8	16.0	21.1	23.4	26.6	27.3	27.1	25.9	23.0	20.0	14.9	13.7

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
Allen	14.3	15.5	20.4	22.6	25.7	26.3	26.0	24.9	22.1	19.3	13.9	12.8
Sam	16.2	17.4	23.3	25.7	30.5	33.9	33.3	32.1	29.5	25.1	17.0	15.0
Ann.	13.1	14.1	18.6	20.7	23.5	24.1	23.9	22.9	20.3	17.7	13.2	12.1
BC	14.1	15.6	19.5	25.3	27.8	25.0	27.2	25.9	21.1	20.1	14.4	15.4
Chen	16.2	17.5	23.0	25.4	28.8	29.3	29.1	27.8	24.5	21.4	16.2	14.9
القيصومة												
H-S	13.1	14.8	20.5	23.4	26.8	27.3	26.9	25.5	22.0	18.4	13.4	12.0
Allen	12.8	14.6	20.1	22.9	26.2	26.6	26.2	24.9	21.5	18.0	12.6	11.4
Sam	13.3	15.6	22.6	26.1	30.3	32.0	31.0	29.9	26.6	21.1	14.1	12.3
Ann.	11.5	13.1	18.1	20.7	23.6	24.1	23.8	22.5	19.5	16.3	11.8	10.6
BC	12.4	16.7	22.4	25.1	24.1	27.8	24.8	23.5	22.1	16.7	15.1	11.9
Chen	14.4	16.2	22.3	25.4	29.0	29.3	29.0	27.4	23.6	19.9	14.6	13.1
الوجه												
H-S	12.7	13.5	17.6	18.9	20.2	19.8	19.8	18.4	16.4	14.9	12.6	11.8
Allen	12.7	13.4	17.6	18.8	20.1	19.7	19.7	18.3	16.3	14.9	12.6	11.8
Sam	11.9	12.7	16.7	18.1	19.8	19.6	19.4	18.3	16.1	14.1	11.7	11.1
Ann.	11.2	11.9	15.5	16.7	17.8	17.5	17.5	16.3	14.4	13.2	11.1	10.4
BC	13.4	16.8	18.3	24.2	22.0	26.5	21.7	20.8	22.3	16.3	15.7	12.5
Chen	14.1	14.9	19.5	21.0	22.5	22.1	22.1	20.6	18.3	16.7	14.0	13.1

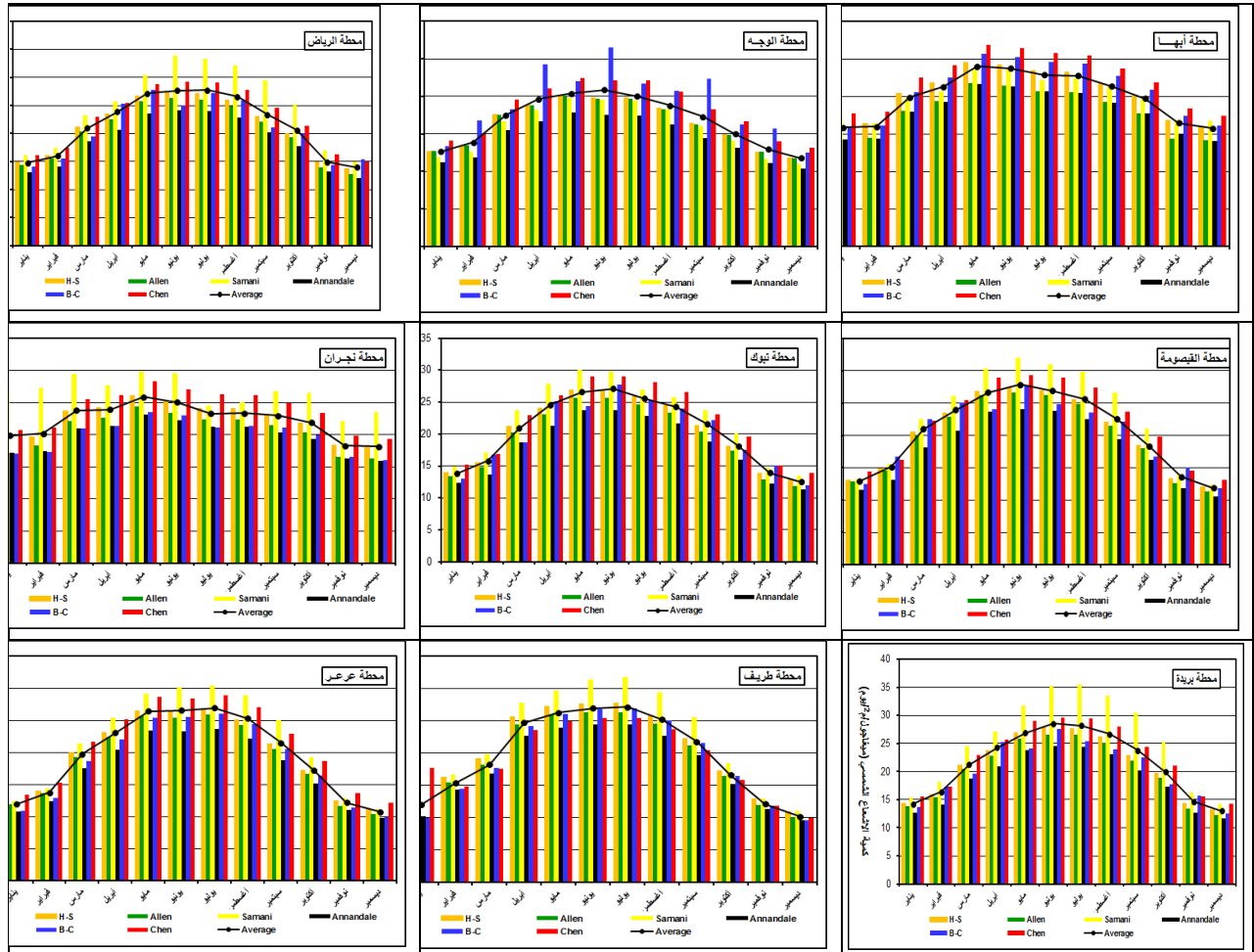
جدول 6: التغيرات الشهرية للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي (ميغا جول/م²/يوم) خلال الفترة 1985-2019.

النموذج	بريدة											
H-S	14.3	16.0	21.2	23.8	26.9	27.7	27.7	26.2	22.9	19.6	14.4	13.2
Allen	13.8	15.4	20.4	22.9	25.9	26.6	26.5	25.1	22.0	18.9	13.4	12.3
Sam	15.4	18.1	24.5	27.2	31.8	35.2	35.6	33.6	30.5	25.2	16.2	14.3
Ann.	12.6	14.1	18.7	21.0	23.8	24.5	24.4	23.1	20.2	17.3	12.7	11.6
BC	13.6	17.4	19.7	25.3	24.2	27.6	25.4	24.0	22.5	17.7	15.8	12.6
Chen	15.6	17.3	23.0	25.7	29.0	29.7	29.5	27.9	24.4	21.0	15.6	14.3
تبوك												
H-S	14.1	17.3	20.7	24.4	26.5	27.4	25.3	25.1	22.2	18.3	14.1	13.8
Allen	13.5	16.6	19.8	23.3	25.3	26.1	24.1	24.0	21.2	17.5	13.5	13.2
Sam	14.4	18.8	22.1	26.2	28.0	29.0	23.9	26.2	22.7	18.8	13.6	15.2
Ann.	12.4	15.3	18.2	21.5	23.4	24.2	22.4	22.2	19.6	16.2	12.5	12.1
BC	13.3	18.6	18.0	26.0	24.0	28.7	24.6	24.5	23.6	17.8	16.2	13.1
Chen	15.4	18.8	22.5	26.5	28.7	29.7	27.8	27.3	24.1	19.9	15.5	14.9
طريف												
H-S	11.3	19.0	18.1	24.6	26.8	27.3	27.1	25.6	21.6	16.8	12.4	12.0
Allen	10.8	18.1	17.2	23.4	25.5	25.9	25.7	24.3	20.6	15.9	11.9	11.5
Sam	10.7	20.1	17.1	24.9	27.3	30.0	28.8	28.2	22.9	16.4	11.7	12.0
Ann.	10.0	16.8	16.0	21.7	23.7	24.1	23.9	22.6	19.1	14.8	11.0	10.6
BC	9.6	17.4	16.1	22.7	26.0	26.5	26.5	25.0	21.2	16.2	11.4	11.3
Chen	10.3	17.4	16.7	22.6	24.7	25.1	24.9	23.6	20.0	15.5	11.4	11.1
عرعر												
H-S	12.2	16.9	18.9	23.5	27.0	28.2	26.9	26.1	22.7	17.7	13.1	12.4
Allen	11.9	16.4	18.3	22.8	26.2	27.3	25.9	25.2	22.0	17.1	12.7	12.1
Sam	11.7	19.3	18.0	25.0	30.9	32.7	28.3	30.5	26.9	18.6	12.4	13.7
Ann.	10.8	14.9	16.6	20.7	23.9	24.9	23.8	23.0	20.0	15.6	11.6	11.0
BC	11.1	16.0	17.5	22.2	26.0	27.3	26.3	25.3	21.9	17.1	12.3	11.7

13.5	14.4	19.2	24.4	28.0	29.2	30.4	29.2	25.6	20.8	18.2	13.5	Chen
نجران												
19.0	19.6	22.7	24.6	24.4	25.2	26.7	25.7	26.3	24.0	20.5	20.6	H-S
17.8	18.3	21.2	22.9	22.7	23.4	24.9	23.9	24.5	22.4	19.1	19.2	Allen
25.6	22.3	27.2	27.5	24.1	25.5	30.5	28.4	34.0	28.3	24.5	31.2	Sam
16.8	17.3	20.0	21.7	21.6	22.2	23.6	22.6	23.2	21.2	18.1	18.2	Ann.
17.2	17.9	21.0	22.8	21.7	22.5	24.6	22.9	23.6	21.7	17.5	18.5	BC
20.3	21.1	24.3	26.6	26.7	27.5	28.8	27.8	28.2	25.9	22.2	21.8	Chen

يتباين المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي من شهر لآخر ومن محطة لأخرى، وتتسم محطة الوجه بأقل الكميات للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الأعلى المحسوب خلال شهر مايو بنماذج هارقريفز-سماني وآلان وأناندال و شان وبما يعادل على التوالي 20.2 و 20.1 و 17.8 و 22.5 ميغاجول/م²/يوم، بينما تتسم محطة عرعر بأكثر الكميات للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الأعلى المحسوب خلال شهر يونيو لنفس النماذج وبما يعادل على التوالي 28.2 و 27.3 و 24.9 و 30.4 ميغاجول/م²/يوم، ومن جهة أخرى، تتسم محطة طريف بأقل الكميات للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الأدنى المحسوب خلال شهر يناير بما يعادل 11.3 ميغاجول/م²/يوم لنموذج هارقريفز-سماني

و 10.8 ميغاجول/م²/يوم لنموذج آلان و 10.7 ميغاجول/م²/يوم لنموذج سماني و 10.0 ميغاجول/م²/يوم أناندال و 9.6 ميغاجول/م²/يوم لنموذج بريستو-كامبل و 10.3 ميغاجول/م²/يوم لنموذج شان، بينما تتسم محطة نجران بأعلى الكميات للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الأدنى المحسوب بنفس النماذج خلال شهر ديسمبر وبما يعادل 19.0 و 17.8 و 25.6 و 16.8 و 17.2 و 20.3 ميغاجول/م²/يوم لنموذج شان. يعود التباين في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي من محطة إلى أخرى نتيجة التباين التضاريسي هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن التركيبة الرياضية للنماذج العددية تلعب دوراً في تبين النتائج في المحطة الواحدة



شكل 2: التغيرات الشهرية للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي بالمحطات المدروسة الشمسي خلال الفترة 1985-2019.

- 3- نموذج آلان (Allen) هو أفضل نموذج بالنسبة لمعايير (MAE, RSR, RMSE) في محطة عرعر.
- 4- نموذج بريستو-كامبل (Bristow-Campbell) هو أفضل نموذج بالنسبة لمعايير (RSR, RMSE) في محطة القيصومة.
- 5- نموذج آلان (Allen) هو أفضل نموذج بالنسبة لمعايير (MAE, RSR, RMSE) في محطة الرياض.
- 6- نموذج أناندال (Annandale) هو أفضل نموذج بالنسبة لمعايير (MAE, RSR, RMSE) في محطة تبوك.
- 7- نموذج سماني (Samani) هو أفضل نموذج بالنسبة لمعايير (MAE, PBias) في محطة طريف.

- تتباين كفاءة النماذج المناخية المدروسة في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي من محطة لأخرى كما تلخصه نتائج تقييم كفاءة أداء النماذج المناخية في (الجدول 7)، بحيث نجد أن:
- 1- نموذج هارقرينز-سماني (HS) هو أفضل نموذج بالنسبة لمعايير (MAE, PBias) في محطة الوجه والنسبة لجميع المعايير في محطة نجران.
- 2- نموذج شان (Chen) هو أفضل نموذج بالنسبة لجميع المعايير في محطة أبها وبالنسبة لمعايير (MAE, RSR, PBias) في محطة بريدة وبالنسبة لمعايير (Pbias, MAE) في محطة القيصومة.

جدول 7: نتائج تقييم كفاءة أداء النماذج المناخية لتقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي.

RMSE	MAE	RSR	PBias	النموذج	النموذج	RMSE	MAE	RSR	PBias	النموذج	الموقع
14.42	1.18	0.67	8.0	HS	HS	7.1	2.4	0.9	10.9	HS	القيصومة
12.12	1.72	0.74	12.5	Allen	Allen	22.2	4.8	1.7	24.4	Allen	
21.23	1.59	1.04	-2.9	Sam	Sam	5.2	2.9	1.0	12.1	Sam	
13.74	3.62	1.08	18.7	Ann	Ann	8.7	4.9	1.7	21.3	Ann	
8.21	1.25	0.59	8.3	BC	BC	5.7	1.7	0.8	8.4	BC	
11.44	0.53	0.65	0.3	Chen	Chen	2.9	0.4	0.4	2.3	Chen	
0.97	0.97	0.83	-2.9	HS	HS	10.01	0.55	13.84	5.0	HS	الوجه
0.10	0.10	0.76	2.4	Allen	Allen	13.55	0.61	13.77	9.8	Allen	
4.93	4.93	1.99	-20.3	Sam	Sam	10.19	1.13	15.59	8.4	Sam	
1.57	1.57	0.82	9.1	Ann	Ann	8.66	2.51	17.37	16.1	Ann	
0.81	0.81	0.95	-2.1	BC	BC	21.02	2.45	20.90	-11.4	BC	
2.68	2.68	1.22	-11.2	Chen	Chen	10.10	1.35	15.77	-5.8	Chen	
32.40	4.87	29.09	-26.1	HS	HS	44.58	5.48	17.33	-30.2	HS	عرعر
63.66	3.92	25.52	-11.3	Allen	Allen	82.77	4.81	15.94	-12.1	Allen	
29.43	5.72	32.53	-31.1	Sam	Sam	56.11	7.55	23.05	-42.0	Sam	
18.35	2.38	20.71	-11.4	Ann	Ann	26.03	3.00	12.70	-15.0	Ann	
26.61	4.87	29.11	-25.7	BC	BC	30.78	4.59	15.98	-24.4	BC	
29.72	6.74	36.43	-37.2	Chen	Chen	39.09	7.25	20.91	-41.3	Chen	
10.62	0.58	0.49	5.4	HS	HS	11.76	1.08	0.59	6.9	HS	بريدة
8.32	1.60	0.57	12.4	Allen	Allen	10.32	2.00	0.73	11.3	Allen	
15.04	0.15	0.69	3.1	Sam	Sam	30.02	3.68	1.45	-12.0	Sam	
11.23	3.02	0.79	16.4	Ann	Ann	11.97	3.64	1.07	17.8	Ann	
9.88	1.58	0.64	10.8	BC	BC	6.97	1.75	0.66	9.5	BC	
10.04	2.24	0.66	12.9	Chen	Chen	9.60	0.54	0.58	-0.2	Chen	
						2.36	0.39	0.39	2.5	HS	نجران
						6.61	0.94	0.94	8.2	Allen	
						10.96	2.04	2.04	-15.9	Sam	
						4.99	1.39	1.39	13.9	Ann	
						4.67	1.24	1.24	12.1	BC	
						2.87	0.60	0.60	-5.1	Chen	

وبناءً على هذه النتائج تم تصميم معادلة الانحدار الخطي للتوزيع الشهري للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي باستخدام نموذج بنمان- مونتايث

(PM) المرجعي (متغير مستقل) وأفضل نموذج تم تحديده (متغير تابع) المستخلصة لكل محطة. (الجدول 7)، كما يلخص (الشكل 3) علاقات الانحدار الخطي

جدول 7: نماذج الانحدار الخطي لتقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي.

معادلة النموذج	المتغير التابع y	معامل الانحدار B	الثابت a	المحطة
Chen = 1.167PM - 4.25	Chen	1.167	4.25	أبها
Allen = 1.152PM - 10.45	Allen	1.152	10.45	الرياض
H-S = 11.309PM - 178.27	H-S	11.309	178.27	الوجه
Chen = 1.569PM - 12.03	Chen	1.569	12.03	القيصومة
Chen = 1.516PM - 11.18	Chen	1.516	11.18	بريدة
Annandale = 17.920PM - 275.91	Annandale	17.920	275.91	تبوك
Samani = 1.459PM - 9.81	Samani	1.459	9.81	طريف
Annandale = 10.506PM - 150.7	Annandale	10.506	150.7	عرعر
H-S = 1.020PM - 1.1	HS	1.020	1.1	نجران

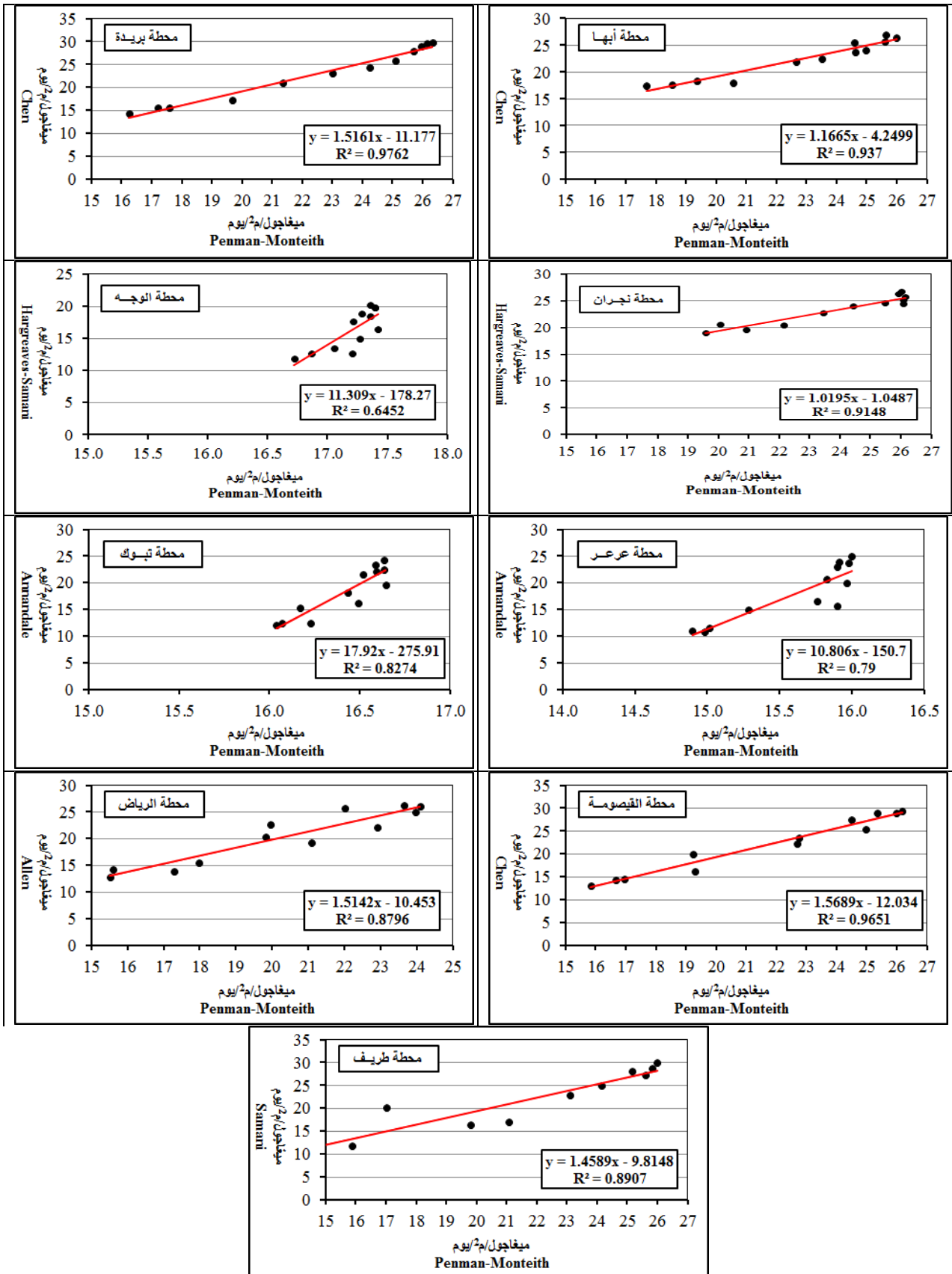
وللتأكد من الأهمية الاحصائية لنموذج الانحدار الخطي المقترح، تم تطبيق اختبار ت-ستودنت (t_t) لفحص معنوية معامل الارتباط بين القيم الشهرية للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي لنموذج التقدير من جهة والنموذج المرجعي من جهة ثانية (الجدول 8).

جدول 8: نتائج فحص الأهمية الاحصائية لنموذج الانحدار الخطي المقترح.

المحطة	R^2	R	n	Df	t_{rc}	t_{rt}	الأهمية الاحصائية
أبها	0.837	0.915	12	10	7.166	1.812	معنوية
الرياض	0.880	0.938	12	10	8.547	1.812	معنوية
الوجه	0.645	0.803	12	10	4.264	1.812	معنوية
القيصومة	0.965	0.982	12	10	16.629	1.812	معنوية
بريدة	0.976	0.988	12	10	20.253	1.812	معنوية
تبوك	0.827	0.910	12	10	6.924	1.812	معنوية
طريف	0.891	0.944	12	10	9.027	1.812	معنوية
عرعر	0.790	0.889	12	10	6.133	1.812	معنوية
نجران	0.915	0.956	12	10	10.362	1.812	معنوية

ومن بيانات (الجدول) 8 يتضح أن قيم الاختبار (t_{rc}) المحسوبة جاءت كلها أكبر من نظيرتها الجدولية (الدرجة P-value) 1.812 عند درجة الحرية 10 ومستوى الدلالة 0.05، وعليه تعتبر علاقات الارتباط بين

القيم المرجعية لنموذج بنمان-مونتايث (PM) والقيم التقديرية لأفضل نموذج "معنوية" وذات أهمية احصائية في جميع المحطات المدروسة.



شكل 3: علاقات ومعادلات الانحدار الخطي لأفضل نموذج مناخي لتقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي.

الخلاصة

كولموغوروف-سميرنوف أن قيم مستوى الدلالة لتوزيع درجات الحرارة العظمى والصغرى والمتوسطة جاءت كلها أصغر من القيمة الحرجة 0.05 بجميع المحطات عند مختلف درجات الحرارة، وبالتالي فهي تدل على أن توزيع بيانات درجات الحرارة العظمى والصغرى

توصلت الدراسة إلى جملة من النتائج الهامة، يمكننا تلخيصها في ما يلي:

1- على مستوى تبين درجات الحرارة فقد أظهرت نتائج اختبار

- 6- تتباين كفاءة النماذج المناخية المدروسة في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي من محطة لأخرى كما تلخصه نتائج تقييم كفاءة أداء النماذج المناخية.
- 7- تبين كفاءة أداء النماذج المناخية في تقدير المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي، حيث أنّ:
- (أ)- نموذج هارقريرفز-سماني (HS) بمحطتي نجران والوجه.
- (ب)- نموذج شان (Chen) هو أفضل نموذج محطات أمها ومحطة بريدة ومحطة القيصومة.
- (ج)- نموذج ألان (Allen) هو أفضل نموذج محطتي عرعر والرياض.
- (د)- نموذج أناندال (Annandale) هو أفضل نموذج محطة تبوك.
- (هـ)- أن نموذج سماني (Samani) هو أفضل نموذج محطة طريف.
- 8- تبين أنّ قيم الاختبار (t_{rc}) المحسوبة كلها أكبر من نظيرتها الجدولية (الدرجة) 1.812 عند درجة الحرية 10 ومستوى الدلالة 0.05، وهي تدل على أن علاقات الارتباط بين القيم المرجعية لنموذج بنمان- مونتايث (PM) والقيم التقديرية لأفضل نموذج "معنوية" وذات أهمية احصائية في جميع المحطات المدروسة.
- والمتوسطة يختلف عن التوزيع الطبيعي في جميع المحطات.
- 2- أظهرت نتائج اختبار هارتلي قيماً لمعامل ($F_{max-ratio}$) المحسوبة أصغر من نظيرتها الجدولية (الدرجة) بجميع المحطات، وهي تدل على أن تبين توزيع درجات الحرارة العظمى والصغرى والمتوسطة متجانس خلال الفترة 1985-2019 في جميع المحطات.
- 3- أظهرت نتائج تحليل اتجاه التغير العام قيماً لاختبار (ت-ستودنت) أصغر من القيمة الجدولية للدرجة 1.645 في جميع المحطات، وهي تدل على أن اتجاهات درجات الحرارة العظمى والصغرى المتزايدة خلال الفترة 1985-2019 غير معنوية ولا تحظى بأية أهمية احصائية، مما يصعب الاستدلال بالزيادة الحاصلة لدرجات الحرارة اليومية للفترتين النصفيتين (1985-2002) و (2003-2019) كمؤشر حقيقي عن التغير المناخي بمنطقة الدراسة.
- 4- تبين المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي من شهر لآخر ومن محطة لأخرى بحيث تتسم محطة الوجه بأقل الكميات للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الأعلى، بينما تتسم محطة عرعر بأكبر الكميات للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الأعلى.
- 5- تتسم محطة طريف بأقل الكميات للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الأدنى، بينما تتسم محطة نجران بأعلى الكميات للمتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الأدنى.

References:

- Adaramola, M.S. (2012). Estimating global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria. *Renewable Energy*, (47), 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.005>
- Al-Amidi, Marwa Khudair, Abdulwahid, Sahib Nima, & Al-Dujaili, Ali Mahdi Jawad. (2017). "Analysis of Spatial and Temporal Variations in Solar Radiation Values in Iraq," *Geographical Research Journal*, Issue 25, pp. 161-224.
- Aldobhani, A. A. M. S. (2014). Effect of Altitude and Tilt Angle on Solar Radiation in Tropical Regions. *Journal of Science and Technology*, 19(1), 96-109. <https://doi.org/10.20428/jst.v19i1.709>
- Aljohani, Z., Asiri, A., Al-Awlaqi, S., Aljohani, T., & AbdelMeguid, H. (2023). Assessment of solar energy availability and its potential applications in NEOM region. *Journal of Renewable Energy Research and Applications (RERA)*, 5(1), 11-19. <https://www.doi.org/10.22044/rera.2023.12674.1201>
- Allen, R. G. (1995). *Evaluation of procedures for estimating mean monthly solar radiation from air temperature*. Report prepared for FAO, Rome, Italy.
- Almorox, J., Hontoria, C., & Benito, M. (2011). Models for obtaining daily global solar radiation with measured air temperature data in Madrid (Spain). *Applied Energy*, 88(5), 1703-1709. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.003>

المراجع:

- آل مشيط، أمل بنت حسين بن سعيد. (2021). تحليل التباين المكاني للمتوسط اليومي لإجمالي الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المرتبطة به لعام 2017 في مناطق مختارة من المملكة العربية السعودية. مجلة جامعة الملك عبدالعزيز - الآداب والعلوم الإنسانية، 29(6)، 256-282.
- سياما، ايف. (2015). *التغير المناخي*. (ترجمة زينب منعم). مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST
- عتاب، رسول رمضان. (2010). حساب وتحليل كمية الاشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الأفقي لمدينة الناصرية. مجلة علوم ذي قار، 2(1)، 148-158.
- العميدي، مروة خضير، عبدالواحد، صاحب نعمة، و الدجيلي، علي مهدي جواد. (2017). تحليل التباين المكاني والزمني لقيم الاشعاع الشمسي في العراق. مجلة البحوث الجغرافية، 25، 161-224.
- مجيد، مصطفى أحمد. (2008). *العلاقة المتداخلة بين الاشعاع الشمسي والغيوم في مدينة الموصل*. (رسالة ماجستير غير منشورة)، كلية التربية، جامعة الموصل.
- محفوظ، محمد بن يسلم. (1995). *الاشعاع الشمسي*. مجلة العلوم والتقنية. إصدارات مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، 34
- وزارة الزراعة والمياه. (1984). *أطلس الموارد المائية للمملكة العربية السعودية*. الرياض.

- Dasari HP, Desamsetti S, Langodan S, Attada R, Kunchala RK, et al. (2019) High-resolution assessment of solar energy resources over the Arabian Peninsula. *Applied Energy* 248: 354371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.105>
- Elagib, N. A., & Mansell, M. G. (2000). New approaches for estimating global solar radiation across Sudan. *Energy Conversion and Management*, 41(5), 419-434. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00123-5](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00123-5)
- Gregory, S. (1970). *Statistical methods and the geographer*. Longman Group. Ltd., London.
- Güney, T. (2021). Solar energy, governance and CO2 emissions. *Renewable Energy*, 184, 791-798. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.124>
- Gürel, A. E., Ağbulut, Ü., Bakır, H., Ergün, A., & Yıldız, G. (2023). A state of art review on estimation of solar radiation with various models. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13167>
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225-230. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001390>
- Itab, Rasool Ramadan. (2010). "Calculation and Analysis of Total Solar Radiation Falling on the Horizontal Surface of Al-Nasiriya City," *Thi-Qar Science Journal*, 2(1), pp. 148-158.
- Jamil, B., Siddiqui, A. T., & Akhtar, N. (2016). Estimation of solar radiation and optimum tilt angles for south-facing surfaces in Humid Subtropical Climatic Region of India. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(4), 1826-1835. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.10.004>
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894-900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>
- Karaman, Ö. A., Ağır, T. T., & Arsel, İ. (2021). Estimation of solar radiation using modern methods. *Alexandria Engineering Journal*, 60(2), 2447-2455. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.12.048>
- Khan, M. S., Ramli, M. A., Sindi, H. F., Hidayat, T., & Boucekara, H. R. (2022). Estimation of Solar Radiation on a PV Panel Surface with an Optimal Tilt Angle Using Electric Charged Particles Optimization. *Electronics*, 11(13), 2056. <https://doi.org/10.3390/electronics11132056>
- Legates, D. R., & McCabe, G. J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, 35(1), 233-241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>
- Lima, A. O., Lyra, G. B., de Souza, J. L., Lyra, G. B., de Oliveira-Júnior, J. F., & Santos, A. A. R. (2019). Assessment of monthly global solar irradiation estimates using air temperature in different
- Al-Mushait, Amal bint Hussein bin Saeed. (2021). "Analysis of Spatial Variation of Daily Total Solar Radiation and Associated Temperature for 2017 in Selected Areas of Saudi Arabia," *King Abdulaziz University Journal - Arts and Humanities*, Vol. 29, Issue 6, pp. 256-282.
- Annandale, J., Jovanovic, N., Benade, N., & Allen, R. (2002). Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. *Irrigation Science*, 21, 57-67. <https://doi.org/10.1007/s002710100047>
- Ball, R. A., Purcell, L. C., & Carey, S. K. (2004). Evaluation of solar radiation prediction models in North America. *Agronomy Journal*, 96(2), 391-397. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.3910>
- Besharat, F., Dehghan, A. A., & Faghieh, A. R. (2013). Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 798-821. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.043>
- Bristow, K. L., & Campbell, G. S. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31(2), 159-166. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(84\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0168-1923(84)90017-0)
- Charfeddine, L., & Kahia, M. (2019). Impact of renewable energy consumption and financial development on CO2 emissions and economic growth in the MENA region: a panel vector autoregressive (PVAR) analysis. *Renewable Energy*, 139, 198-213. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.010>
- Chen, R., Kang, E., Lu, S., Yang, J., Ji, X., Zhang, Z., & Zhang, J. (2006). New methods to estimate global radiation based on meteorological data in China. *Energy Conversion and Management*, 47(18-19), 2991-2998. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.03.025>
- Chowdhury, S., & Al-Zahrani, M. (2013). Reuse of treated wastewater in Saudi Arabia: an assessment framework. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 3(3), 297-314. <https://doi.org/10.2166/wrd.2013.082>
- Chowdhury, S., & Al-Zahrani, M. (2022). Implications of climate change on water resources in Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38, 1959-1971. <https://doi.org/10.1007/s13369-013-0565-6>
- Chukwujindu, N. S. (2017). A comprehensive review of empirical models for estimating global solar radiation in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 955-995. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.101>
- Das, M., & Mandal, R. (2022). Effect of solar radiation and operating factor of the PV module on the loss of load probability of a PV-Battery system. *Materials Today: Proceedings*, 56, 2767-2773. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.010>

- transpiration using support vector machine (SVM) and extreme learning machine (ELM) in region IV-A, Philippines. *Water*, 14(5), 754. <https://doi.org/10.3390/w14050754>
- Zell, E., Gasim, S., Wilcox, S., Katamoura, S., Stoffel, T., Shibli, H., ... & Al Subie, M. (2015). Assessment of solar radiation resources in Saudi Arabia. *Solar Energy*, 119, 422-438. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.031>
- climates of the state of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. *SN Applied Sciences*, 1, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1041-z>
- Liu, R., Yuan, S., & Han, L. (2022). Evaluation and analysis on the temperature prediction model for bailing mushroom in Jizhou, Tianjin. *Agriculture*, 12(12), 2044. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122044>
- Mahfood, Muhammad bin Yaslam. (1995). "Solar Radiation," Science and Technology Journal, King Abdulaziz City for Science and Technology Publications, Issue 34.
- Majid, Mustafa Ahmed. (2008). "Interrelationship Between Solar Radiation and Clouds in Mosul City," (Unpublished Master's Thesis), College of Education, Mosul University.
- McCormick, P. G., & Suehrcke, H. (2018). The effect of intermittent solar radiation on the performance of PV systems. *Solar Energy*, 171, 667-674. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.06.043>
- Ministry of Agriculture and Water. (1984). "Atlas of Water Resources of the Kingdom of Saudi Arabia," Riyadh.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Oliver, J. E. (1982). *Climatology selected applications*. Edward Arnold, V. H. Wiston and Sons.
- Phogat, V., Skewes, M. A., Cox, J. W., & Simunek, J. (2016). Statistical assessment of a numerical model simulating agro hydro-chemical processes in soil under drip fertigated mandarin tree. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 5(2), 1-9. <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9768.1000155>
- Rehman, S., & Mohandes, M. (2008). Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity. *Energy Policy*, 36(2), 571-576. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.09.033>
- Samani, Z. (2000). Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265-267. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:4\(265\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:4(265))
- Siama, Eve. (2015). "Climate Change," (Translated by Zainab Monaam), King Abdulaziz City for Science and Technology (KACST).
- Stewart, D. A., Dudel, H. P., & Levitt, L. J. (1993). *Solar radiation in Saudi Arabia. Final technical report, March-December 1992* (No. ADA-269970/0/XAB; AMSMI/TR-RD-WS-93-6). Army Missile Command, Redstone Arsenal, AL (United States). Weapons Science Directorate.
- Tejada Jr, A. T., Ella, V. B., Lampayan, R. M., & Reaño, C. E. (2022). Modeling reference crop evapo-