



# Reliability Study of the PVGIS Database and the Simple Clear-Sky Model in Estimating Daily Horizontal Solar Radiation (GHI): A Case Study – Tajoura

Bashir Hgaig<sup>1</sup> , Bashir Gwasem<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electromechanical Engineering, College of Industrial Technology, Misurata, Libya.

<sup>2</sup>Independent Researcher.

\*Corresponding author email: [basher.gwasem@eng.misuratau.edu.ly](mailto:basher.gwasem@eng.misuratau.edu.ly)

Received: 17-10-2025 | Accepted: 03-12-2025 | Available online: 15-12-2025 | DOI:10.26629/jtr.2025.08

## ABSTRACT

Photovoltaic (PV) systems have reached high efficiency and grid parity in many regions, yet their performance often remains suboptimal due to inappropriate design practices and inconsistencies in system components. Accurate solar radiation data are essential for evaluating PV performance, as on-site measurements provide the highest reliability. However, when such data are unavailable, mathematical models and satellite databases are used despite their lower accuracy and the uncertainty they introduce. This study assesses the reliability of the Clear-Sky model and the PVGIS database in estimating global horizontal irradiance (GHI) for the Tajoura region. Actual radiation data for 2021 were obtained from the monitoring station of the Libyan Center for Solar Energy Research and Studies and validated using the DQRs methodology. Annual daily radiation matrices for actual data, the Clear-Sky model, and PVGIS were generated using MATLAB and statistically compared. Results show that the Clear-Sky model produces acceptable annual estimates but consistently overestimates radiation, with rMAE = 12%, rRMSE = 18.1%, rMBE = +10.15%, R<sup>2</sup> = 0.84, and NSE = 0.75. PVGIS demonstrated higher accuracy, with moderate errors (5–7%), NSE = 0.96, a slight negative bias (MBE = -0.81%), and strong correlation with actual values (R<sup>2</sup> = 0.96). Although both tools are useful for monthly and annual assessments, caution is required when using them for daily or instantaneous forecasting due to increased uncertainty.

**Keywords:** Global Horizontal Irradiance, Clear-Sky Model, PVGIS, Solar Irradiation Data Analysis, Statistical metrics.

# دراسة موثوقة قاعدة بيانات PVGIS ونموذج السماء صافية البسيط في تقدير الإشعاع الشمسي الأفقي اليومي GHI: دراسة حالة – تاجوراء

بشير حقيق<sup>1</sup>, بشير قواسم<sup>2</sup>

<sup>1</sup>قسم الهندسة الكهروميكانيكية، كلية التقنية الصناعية، مصراتة، ليبيا

<sup>2</sup>باحث مستقل



## ملخص البحث

على الرغم من التطور الكبير في كفاءة أنظمة الطاقة الشمسية ووصولها إلى مستوى منافس للشبكات التقليدية في العديد من الدول، إلا أن استخدامها لا يزال يعني من نقص في الكفاءة بسبب الأساليب غير الدقيقة في التصميم وعدم التوافق بين مكونات الأنظمة. وتتمثل دقة بيانات الإشعاع الشمسي عنصراً أساسياً في تقييم أداء الأنظمة الكهروضوئية، حيث تُعد القياسات الميدانية المباشرة الأكثر موثوقية، بينما تؤدي النماذج الرياضية وقواعد البيانات المعتمدة على الأقمار الصناعية إلى زيادة عدم اليقين عند غياب البيانات الفعلية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم موثوقية كل من نموذج السماء الصافية (Clear-Sky) وقاعدة بيانات PVGIS في تقدير الإشعاع الشمسي الأفقي (GHI) في منطقة تاجوراء. وقد تم استخدام بيانات فعلية لعام 2021 تم الحصول عليها من محطة الرصد التابعة للمركز الليبي لأبحاث ودراسات الطاقة الشمسية، بعد التحقق من جودتها باستخدام منهجية DQRs. كما تم إنشاء مصفوفات الإشعاع اليومي السنوي لكل من البيانات الفعلية والنموذجين باستخدام برنامج MATLAB وإجراء تحليل إحصائي مقارن. أظهرت النتائج أن نموذج السماء الصافية يعطي تقديرات مقبولة سنوياً لكنه يميل إلى المبالغة، حيث بلغت مؤشرات أدائه MAE بنسبة 12%， و RMSE بنسبة 18.1%， وانحياز موجب  $MBE = +10.15\%$  ، ومعامل ارتباط  $R^2 = 0.84$  ، وكفاءة  $NSE = 0.75$ . بينما قدم PVGIS أداءً أدق، بأخطاء معتدلة (5-7%)، وانحياز طفيف سالب، وكفاءة  $NSE = 0.96$  ، وارتباط قوي  $R^2 = 0.96$ . وتؤكد الدراسة أهمية استخدام هذه الأدوات بحذر في التنبؤ اليومي والفوري بسبب ارتفاع مستوى عدم اليقين.

**الكلمات الدالة:** الإشعاع الشمسي الأفقي، نموذج السماء صافية، قاعدة بيانات الإشعاع الشمسي، المقاييس الإحصائي.

للموقع. سواء القيم اللحظية لفترات طويلة أو القيم اليومية، كما تعتبر النافذة الشمسية PSH من أهم القيم المستخدمة في التصميم [3]. علاوة على ذلك تتطلب دراسة الجدوى لأنظمة الطاقة الشمسية بيانات الإشعاع الشمسي اليومية أو الشهرية [4]. وبالرغم من ذلك، يوجد نقص كبير في بيانات الإشعاع الشمسي لمناطق ليبيا بسبب التحديات اللوجستية لقياسه فعليا. ولتعويض هذا النقص ازداد الاعتماد على النماذج الرياضية لحساب الإشعاع الشمسي، وكذلك قواعد البيانات المتاحة عبر الانترنت المعتمدة على قياسات أرضية والأقمار الصناعية [5]. إلا أن عمليات المحاكاة الدقيقة للإشعاع الشمسي تحت سماء ملبدة بالغيوم بالكامل أو جزئياً تعد صعبة للغاية [6]. تهدف هذه الدراسة إلى التتحقق من موثوقية نموذج السماء صافية البسيط، وقواعد بيانات PVGIS في تقيير الإشعاع الشمسي الأفقي اليومي السنوي لمنطقة تاجوراء، وذلك بمقارنتها مع بيانات أرضية باستخدام التحليل الإحصائي.

### 1. مقدمة:

أصبحت الطاقة المتجددبة تلعب دوراً بالغ الأهمية في إنتاج الطاقة حول العالم. فهي مصدر رئيسي لتوليد الكهرباء دون الاعتماد على الوقود الأحفوري مثل الغاز والنفط والفحm. هذا التحول ضروري لتقليل التلوث البيئي ومنع الاحتباس الحراري. تُعد تقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) من أهم مصادر الطاقة المتجددبة [1]. ومع تحولها من مصدر طاقة متخصص إلى أحد المصادر الرئيسية، أصبحت الطاقة الكهروضوئية تواجه تحديات تتطلب منافستها للتقنيات الراسخة في إنتاج الطاقة، ليس فقط من الجانب الاقتصادي، بل أيضاً من ناحية الموثوقية. لذا هناك حاجة لضمان عمل هذه الأنظمة بأداءً عالي وتلبية الغرض المقصومة له [2]. أن أحد أهم أسباب فشل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المركبة هو سوء أساليب التصميم، التصميم الذي يعتمد بشكل كبير على معرفة إمكانيات الإشعاع الشمسي

تناسب بشكل جيد مع البيانات المقاسة، حيث كانت قيمة جذر متوسط مربع الخطأ ( $rRMSE = 8-4\%$ )، ومعامل التحديد ( $R^2 = 97\%$ )، وخطأ الانحياز المتوسط [9] ( $rMBE = -5\%$ )

وفي هذا السياق جاءت هذه الدراسة والتي تكمن أهميتها في كونها الأولى من نوعها في ليبيا التي تقيم موثوقية تقدير الإشعاع الشمسي باستخدام بيانات محلية والتحليل الاحصائي، مما يسهم فيسد فجوة بحثية. حيث إن النتائج التي تقدمها الدراسة تُعد ضرورية لدعم تخطيط النشر الفعال لمشاريع الطاقة الكهروضوئية في البلاد، مما يساهمن في التحول الطاقوي في ليبيا بشكل أكثر موثوقية.

## 2. منهجية البحث:

## 2. موقع الدراسة:

تمأخذ البيانات الفعلية لسنة 2021 للإشعاع الشمسي الأفقي اللحظي من محطة الرصد المثبتة في المركز الليبي لبحوث ودراسات الطاقة الشمسية تاجوراء CSERS الموضح بالشكل (1)، والتي تقع في خط عرض 32.8146 وخط طول 13.4384، تأسس المركز سنة 1978 ومن أهدافه القيام بالأبحاث والدراسات العلمية في مجال الطاقة الشمسية وإجراء المسوحات الالزمه لتقدير مصادر الطاقة الشمسية [10].



**شكل 1.** موقع المركز الليبي لبحوث ودراسات الطاقة الشمسية  
تاجوراء.

#### 2.2. نموذج السماء صافية (Clear Sky Model)

تتغير تأثيرات الغلاف الجوي في تشتت وامتصاص الإشعاع مع الزمن ومع تغير الظروف الجوية وكتلة الهواء. من المفيد تعريف سماء "صفافية" قياسية وحساب الإشعاع الشمسي الساعي واليومي الذي يمكن استقباله

قام (B.E. Psiloglou 2018) بدراسة مقارنة بين تقدير قواعد بيانات PVGIS مع الإشعاع الشمسي الأفقي المقاس في محطة ميثنوني اليونان. حيث أظهرت قواعد بيانات PVGIS قدرة مقبولة على محاكاة الإشعاع الشمسي الكلي وكان معامل التحديد (R<sup>2</sup>) = 0.92 . [7] (0.82)

أجرى T. Mahach (2017) مقارنة بين مصادر بيانات الأرصاد الجوية المختلفة لموقع في جنوب أفريقيا مع القيم الأرضية، أعطت قواعد بيانات PVGIS تقديرًا ممتازًا لبيانات الإشعاع الشمسي الأفقي حيث كانت RMSE = 7.17 Wh\m<sup>2</sup>, rMBE (=0.44%). [8]

درس (Matthew J. Reno 2012) أداء مجموعة من نماذج حساب الإشعاع الشمسي الأفقي في ظروف السماء صافية، والتي تختلف في تعقيد المدخلات منها البسيط جداً إلى المعقدة جداً. وذلك بمقارنة نتائجها مع القيم الفعلية المقاسة من 30 موقع مختلف بإجمالي 300 سنة، وجدوا أن النماذج المعقدة التي تأخذ بعين الاعتبار جميع المتغيرات الجوية بشكل صحيح هي أكثر دقة من النماذج الأخرى، وغالباً ما تظهر النماذج الأكثر بساطة أخطاءً أكبر. أظهرت النماذج البسيطة المعتمدة على ارتفاع الشمس مثل (KC, ABCG, DPP) تحيز سلبي كبير ( $rMBE = -16\%$ ), وكان  $rRMSE = 19\%$ ، أما بالنسبة للنماذج المعقدة مثل (Atwater, Ineichen) أظهرت تحيز وخطأ صغير .[4] ( $rMBE = -0.3\%$ ,  $rRMSE = 6\%$ )

لتقدير أقصى إمكانيات الطاقة الشمسية لثلاث مناطق في مناخ شبه صحراوي في ناميبيا، قام (Nicholas Kwarikunda وآخرون 2021) بتقدير الإشعاع الشمسي الأفقي GHI في ظروف السماء صافية باستخدام تلات نماذج من السماء صافية البسيطة، تم تعديلها في الدراسة لتتكيف مع الظروف المحلية للمناطق، والتحقق من صحة النماذج وتقدير أدائها باستخدام بيانات مقاسة من كل موقع مدرسو، عن طريق التحليل الاحصائي. أظهرت النتائج أن النماذج

### 2.3. قاعدة بيانات (PVGIS):

هو نظام معلومات جغرافي للطاقة الكهروضوئية، وهو أداة مجانية ومتحركة عبر الإنترنت توفر معلومات شاملة عن الإشعاع الشمسي وأداء أنظمة الطاقة الكهروضوئية (PV) في أغلب مناطق العالم [7]. تعتمد PVGIS بشكل أساسي على بيانات الأقمار الصناعية كمصدر رئيسي لقواعد بياناتها المتعلقة بالإشعاع الشمسي، كما تعتمد على مجموعة من البيانات المناخية، التي تم جمعها من مصادر متعددة لضمان دقة النتائج [8]. يقوم PVGIS بحساب مكونات الإشعاع الشمسي المباشر، والمنتشر، والمنعكس للسماء الصافية والسماء الفعلية، سواء كان ذلك إشعاعاً لحظياً (irradiation) أو إشعاعاً متراكمأً (irradiance) للأسطح الأفقية أو المائلة. كما يقوم بحساب إجمالي الإشعاع اليومي المتراكم عن طريق دمج قيم الإشعاع اللحظي المحسوبة على فترات زمنية مدتها 15 دقيقة من شروق الشمس حتى غروبها، مع الأخذ في الاعتبار عوائق الغلاف الجوي [13].

### 2.4. تحليل البيانات:

اعتمدت الدراسة على بيانات فعلية للإشعاع الشمسي الأفقي اللحظي لسنة 2021، على كامل السنة وبفترات زمنية قدرها 10 دقائق، وكانت عدد النقاط الزمنية في البيانات الأولية (الخام) 52560 نقطة زمنية. ولضمان دقة النتائج تم التحقق من جودة البيانات واتباع منهجية (Data Quality Routines DQRs) الموضحة في المرجع [14] لمعالجة البيانات والتحقق من الجودة، باستخدام برنامج الماتلاب. حيث تم فحص سلامة السلسلة الزمنية والبحث عن فجوات الطوابع الزمنية أو الإدخالات المتركرة. وتم تطبيق مرشح ضوء النهار على مجموعة البيانات، ومن تم تحديد القيم المفقودة والكشف عن القيم الشاذة. بعد الانتهاء من خطوات معالجة البيانات تبين أن نسبة اكتمال البيانات 100 %، وتمت إزالة الفترات الزمنية التي يكون فيها الإشعاع الشمسي أقل من  $80 \text{ W/m}^2$  ومنها فترات الليل، وإعداد البرنامج لحساب قيمة الإشعاع

على سطح أفقى تحت هذه الظروف القياسية [11]. تُستخدم نماذج السماء الصافية لتقدير الإشعاع الشمسي في ظروف السماء الصافية، أي عندما لا توجد غيوم في الغلاف الجوي، وذلك باستخدام الهندسة الشمسية ومتغيرات الغلاف الجوي الأخرى. لتحديد الأداء الأمثل للتقنيات الشمسية في موقع معين، من الضروري تقدير كمية الطاقة الشمسية المتاحة. لذلك، فإن حساب الإشعاع الشمسي الأفقي الإجمالي (GHI) للسماء الصافية في هذا الموقع يعتبر خطوة أساسية للتتبُّؤ بأداء الأنظمة الشمسية قبل تركيبها [12]. تترواح النماذج بين نماذج السماء الصافية البسيطة التي تتطلب عدد قليل من متغيرات الإدخال إلى نماذج السماء الصافية المعقدة التي تتطلب العديد من متغيرات الإدخال. تم اعتماد نموذج السماء الصافية البسيط والمعتمد على زاوية ارتفاع الشمس، الموضح في المعادلات (1 - 5) بحسب مرجع بكمان [11].

$$AM = \frac{1}{\cos Z_s} \quad (1)$$

حيث: AM الكتلة الهوائية،  $Z_s$  زاوية سمت الرأس الشمسية.

$$T_r = e^{-k * AM} \quad (2)$$

حيث:  $T_r$  معامل الشفافية الجوي،  $k$  معامل الانقراض الجوي وفرض في هذه الدراسة ثابت 0.2 بحسب المرجع.

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360}{365} * n\right) \quad (3)$$

حيث:  $d_r$  المعامل المداري لتصحيح المسافة بين الشمس والأرض،  $n$  اليوم في السنة.

$$G_0 = G_{sc} * d_r * \cos Z_s \quad (4)$$

حيث:  $G_0$  الإشعاع الشمسي الأفقي خارج الغلاف الجوي،  $G_{sc}$  الثابت الشمسي  $1.367 \text{ W/m}^2$

$$GHI = G_0 * T_r \quad (5)$$

حيث:  $GHI$  لإشعاع الشمسي اللحظي الأفقي الوائل إلى سطح الأرض.

نash-Sوتکلیف تُستخدم لتقییم مدى جودة أداء نموذج محاکاة في التنبؤ بالبيانات المرصودة. تعکس قيمة NSE عن مدى جودة تطابق قيم النموذج مع القيم الفعلية المرصودة. ( $NSE=1$ ) يعني أن النموذج مطابق تماماً للبيانات المرصودة، وهو الأداء المثالي. ( $NSE=0$ ) يعني أن أداء النموذج لا يختلف عن استخدام متوسط القيم المرصودة للتنبؤ، وهو لا يقدم أي تحسين حقيقي. ( $NSE<0$ ) يعني أن النموذج أسوأ من استخدام متوسط القيم المرصودة للتنبؤ. المعادلات (6) - (13) تعطی حساب هذه المقاييس - $7-8-9-12-15$ ، حيث  $I_a$  القيمة الفعلية وهي قيمة الإشعاع الشمسي الفعلى،  $I_s$  قيمة الإشعاع الشمسي المتوقعة،  $\bar{I}_a$  متوسط القيم الفعلية،  $n$  عدد القيم وهي 365.

 $R^2$ 

$$= \frac{n(\sum I_a * I_s) - (\sum I_a)(\sum I_s)}{\sqrt{[n(\sum I_a^2) - (\sum I_a)^2][n(\sum I_s^2) - (\sum I_s)^2]}} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_a - I_s)^2}{n}} \quad (7)$$

$$rRMSE = \frac{RMSE}{\sum_{i=1}^n \frac{I_a}{n}} * 100 \quad (8)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (I_s - I_a)}{n} \quad (9)$$

$$rMBE = \frac{MBE}{\sum_{i=1}^n \frac{I_a}{n}} * 100 \quad (10)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |I_a - I_s|}{n} \quad (11)$$

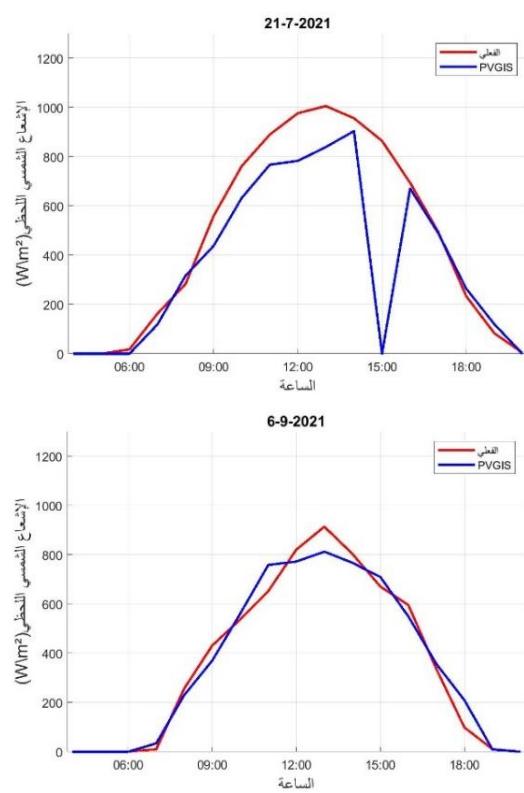
$$rMAE = \frac{MAE}{\sum_{i=1}^n \frac{I_a}{n}} * 100 \quad (12)$$

الشمسي اللحظي الأفقي باستخدام نموذج السماء صافية لكل فترة زمنية متبقية. ومزامنة بيانات PVGIS، وانشاء مصفوفة الإشعاع الشمسي الأفقي اليومي السنوي. المدرجة في الملحق (1).

## 2.5. التحليل الإحصائي:

تم استخدام مجموعة من المقاييس الإحصائية الشائعة لتحديد أداء نموذج السماء صافية و PVGIS في تقدير قيم الإشعاع الشمسي في موقع الدراسة، ومن بينها معامل التحديد  $R^2$  يوضح النسبة المئوية للبيان في المتغير التابع الذي يفسر النموذج. تشير القيمة الأعلى إلى أن النموذج يفسر جزءاً أكبر من التباين، مما يعني ملاءمة أفضل للبيانات ويتراوح بين 0-1. الخطأ النسبي للجذر التربيعي لمتوسط المربعات  $RMSE$  يحدد نسبة الخطأ المئوية في النموذج، بغض النظر عن اتجاه الخطأ، مع إعطاء وزن أكبر للأخطاء الكبيرة. يشير  $RMSE$  المنخفض إلى أداء ممتاز للنموذج، بينما يشير  $RMSE$  المرتفع إلى أداء ضعيف. الخطأ النسبي في متوسط الانحياز  $rMBE$  يقيس درجة الانحياز في النموذج كنسبة مئوية. تشير قيمة  $rMBE$  المنخفضة إلى أداء ممتاز، بينما تشير القيمة المرتفعة إلى أداء ضعيف. يدل  $rMBE$  السالب على أن النموذج يبالغ في التقدير، في حين يشير  $rMBE$  الموجب إلى أنه يقلل من التقدير. تم تضمين الخطأ النسبي المطلق المتوسط  $rMAE$ ، الذي يحدد القيمة المطلقة للخطأ بين القيم المقاسة والمقدرة، في الدراسة لأنه يعطي نظرة أفضل على مهارة التقدير. تشير قيمة  $rMAE$  الأعلى إلى أن النموذج لديه مهارة تقدير منخفضة، بينما تشير قيمة  $rMAE$  المنخفضة إلى أن النموذج لديه مهارة تقدير ودقة أعلى. يقيس  $rMAE$  الاتجاه العام للخطأ ما إذا كان النموذج يبالغ في التقدير أو يقلل منه، يركز  $rMAE$  على حجم الخطأ المطلق بغض النظر عن اتجاهه. معنى آخر، يهتم  $rMAE$  بمدى بعد التقديرات عن القيم الفعلية، بينما يهتم  $rMBE$  بما إذا كانت هذه الفروقات تمثل إلى أن تكون إيجابية أو سلبية في المتوسط. كفاءة

في المقابل، سُجل أقل فرق بين القيمتين في 6 سبتمبر. في هذا اليوم، تقارب القيم حيث بلغت القيمة الفعلية 6134 Wh\m<sup>2</sup> PVGIS و 6135 Wh\m<sup>2</sup> على التوالي. الموضحة بالشكل (3). فيما يخص نموذج السماء الصافية الشكل (4). تم تسجيل أكبر فرق في 25 مايو. بلغت القيم 3758 Wh\m<sup>2</sup> و 8263 Wh\m<sup>2</sup> على التوالي مما يدل على أنه يوم غائم، بينما كان أقل فرق بين القيم الفعلية وقيم نموذج السماء الصافية في 14 مايو. حيث كانت القيم متقاربة جدًا عند 8195 Wh\m<sup>2</sup> و 8197 Wh\m<sup>2</sup> على التوالي مما يدل على أن معظم اليوم صافي. حتى عندما تكون كمية الطاقة الإجمالية في يوم معين متقاربة، فإن التباين في القيم اللحظية للقدرة على مدار اليوم قد يكون كبيراً. هذا يعني أن التنبؤ بالحصيلة اليومية للطاقة لا يضمن دقة التنبؤ بالقيم اللحظية.

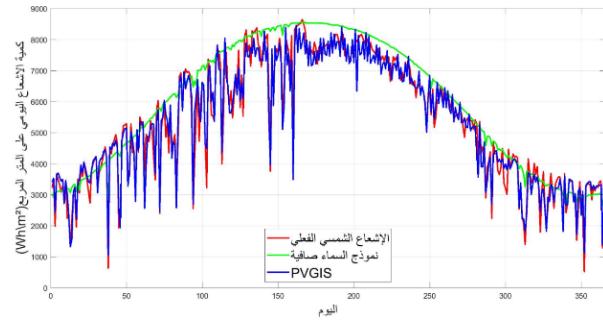


شكل 3. الإشعاع اللحظي لليوم الذي سجل فيه أقل وأكبر خطأ من PVGIS في تقدير الإشعاع الشمسي اليومي.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (I_s - I_a)^2}{\sum_{i=1}^n (I_a - \bar{I}_a)^2} \quad (13)$$

### 3. مناقشة النتائج:

تم التحقق من موثوقية قيم التنبؤ والقيم الفعلية من خلال قيم الإشعاع الشمسي اليومي لسنة 2021 الموضحة في الشكل (2)، الخط الأحمر يمثل الإشعاع الشمسي الفعلي، بينما يمثل الخط الأخضر القيم النظرية في حالة السماء الصافية. الفجوة بين هذين الخطين تظهر بوضوح تأثير الظروف الجوية على كمية الإشعاع الشمسي الواسلة إلى الأرض. كلما اقترب الخط الأحمر من الأخضر، كان ذلك مؤشراً على أن السماء كانت صافية في ذلك اليوم، مما سمح بمرور معظم أشعة الشمس. وعلى العكس، فإن الانخفاض الحاد للخط الأحمر بعيداً عن الخط الأخضر يدل على أن ظروفاً جوية سيئة، مثل الغيوم الكثيفة، قد حجزت جزءاً كبيراً من الإشعاع الشمسي. تظهر المقارنة بين الخط الأحمر (الإشعاع الفعلي) والخط الأزرق (تقديرات PVGIS) دقة نموذج PVGIS. يتبع الخط الأزرق الاتجاه العام للخط الأحمر على مدار السنة، ولكنه يتتجاهل التقلبات اليومية الحادة. بشكل عام، تكون قيم PVGIS أقل من الإشعاع الفعلي في الأيام المشمسة، لكنها قد تكون أعلى منه في الأيام الغائمة، حيث تعكس تقديرًا متوسطًا وليس القياسات اللحظية المتأثرة بالطقس.



شكل 2. الإشعاع الشمسي اليومي السنوي الفعلي ونموذج السماء صافية و PVGIS.

سجل أكبر فرق بين القيم الفعلية وقيم PVGIS يوم 21 يونيو وكانت القيمة الفعلية للإشعاع الشمسي اليومي 6343 Wh\m<sup>2</sup> والقيمة من PVGIS 7937 Wh\m<sup>2</sup>

جدول رقم (1): قيم الإشعاع الشمسي الشهري المدرسوة.

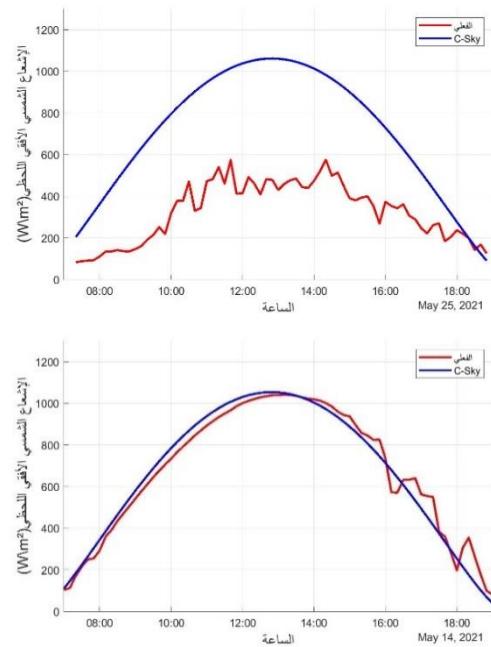
PVGIS (KWh\m <sup>2</sup> )	السماء صافية (KWh\m <sup>2</sup> )	القيمة الفعلية (KWh\m <sup>2</sup> )	الشهر
102.321	103.554	98.436	يناير
117.349	122.750	116.423	فبراير
159.116	183.216	160.241	مارس
184.290	217.866	179.506	أبريل
220.432	253.645	226.601	مايو
220.312	255.235	229.638	يونيو
238.357	258.656	244.349	يوليو
218.372	236.825	220.323	أغسطس
177.491	191.934	176.103	سبتمبر
132.702	150.349	134.412	أكتوبر
93.113	107.230	95.939	نوفمبر
92.606	91.308	90.458	ديسمبر

بلغ الإشعاع الشمسي السنوي في موقع الدراسة من البيانات الفعلية  $1974.36 \text{ KWh/m}^2$  بينما توقع نموذج السماء صافية للإشعاع الشمسي السنوي لنفس الموقع PVGIS بقيمة  $2172.60 \text{ KWh/m}^2$  وكان توقع PVGIS بقيمة  $1956.50 \text{ KWh/m}^2$ .

توقع نموذج السماء صافية النافذة الشمسية PSH للموقع  $5.36 \text{ h}$ ، وكانت  $5.95 \text{ h}$  بتوقع PVGIS، أما بالنسبة للقيمة الفعلية فكانت  $5.4 \text{ h}$ .

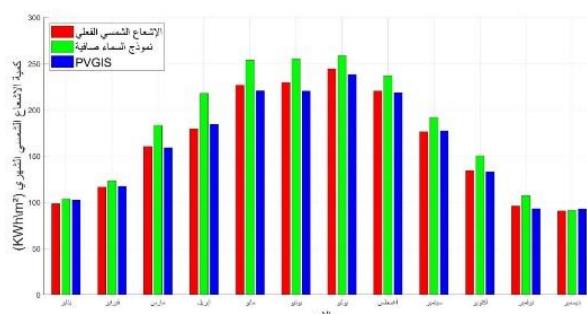
تُظهر الأشكال البيانية (6 - 7) علاقة الارتباط بين البيانات الفعلية والبيانات المقدرة للإشعاع الشمسي اليومي السنوي. تمثل المحاور الأفقية القيم الفعلية للإشعاع الشمسي اليومي، في حين تمثل المحاور الرئيسية القيم المقدرة. النقاط تمثل القيم لكل يوم ملونة بحسب شهور السنة، والخط المتقطع الأحمر يمثل خط التطابق المثالي ( $Y=X$ )، حيث تتطابق فيها القيم المتوقعة مع القيم الفعلية تماماً.

النقاط المنتشرة في الشكل (6) تتمرّكز بشكل كبير حول الخط المتقطع  $=y=x$ ، مما يدل على أن القيم التقديرية للنموذج متواقة جداً مع القيم الفعلية. كما لا يوجد شهر معين يظهر تباعداً كبيراً عن الخط، مما يشير إلى أن النموذج يحافظ على دقة عالية طوال فصول السنة



شكل 4. الإشعاع اللحظي لليوم الذي سجل فيه أقل وأكبر خطأ من نموذج السماء صافية في تقدير الإشعاع الشمسي اليومي.

يوضح الشكل (5) والجدول (1) قيم الإشعاع الشمسي الأفقي الشهري، لوحظ بشكل عام زيادة الفرق في أشهر الصيف وانخفاضه في الشتاء للقيم، بالنسبة لقيم نموذج السماء صافية كان أكبر فرق  $38.35 \text{ KWh/m}^2$  في شهر أبريل وأقل فرق  $0.85 \text{ KWh/m}^2$  في شهر ديسمبر، أما لقيم PVGIS فكان أكبر فرق  $9.32 \text{ KWh/m}^2$  وأقل فرق  $0.9 \text{ KWh/m}^2$  لشهري يونيو وفبراير على التوالي. مقارنة بالقيم الفعلية.

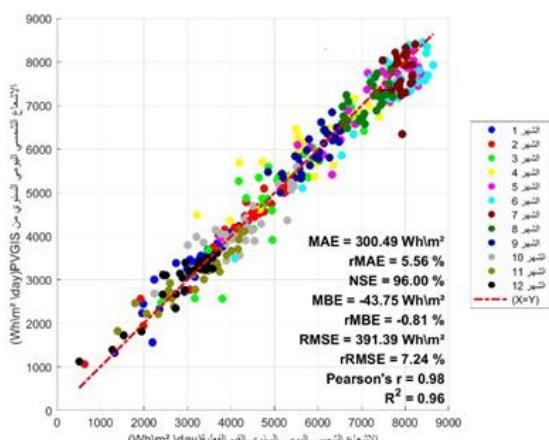


شكل 5. الإشعاع الشمسي الشهري.

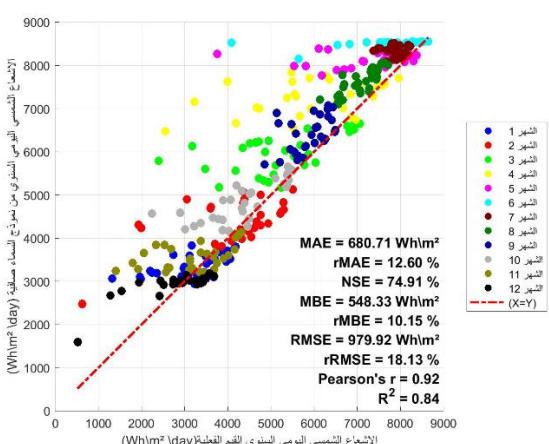
( $NSE=0.75$ ) يشير إلى أن النموذج أفضل من المتوسط، ولكن دقته متوسطة. ( $R^2=0.84$ ) يدل هذا على أن النموذج يفسر 84% من التباين الفعلي، إلا أنه يفتقد للدقة العالية.

جدول 2. المقاييس الإحصائية المدروسة لنموذج السماء صافية .PVGIS

Model	C-sky	PVGIS
$R^2$	0.84	0.96
RMSE Wh/m <sup>2</sup>	979.9	391.4
rRMSE %	18.1	7.24
MBE Wh/m <sup>2</sup>	548	43.7-
rMBE %	10.15	0.81-
NSE %	74.9	96
MAE Wh/m <sup>2</sup>	680.7	300.5
rMAE %	12.6	5.56



شكل 6. مخطط الانتشار (Scatter Plot) لقيم PVGIS



شكل 7. مخطط الانتشار (Scatter Plot) لقيم نموذج السماء صافية.

المختلفة، بما في ذلك أشهر الشتاء ذات الإشعاع الأقل وأشهر الصيف ذات الإشعاع الأعلى. أما في الشكل (7) تمركز النقاط حول الخط المنقطع  $y=x$ ، لكنها أكثر تشتتاً وبعيدة عنه. وهذا التشتت يؤكد على انخفاض دقة هذا النموذج. يمكن ملاحظة أن العديد من النقاط تقع فوق الخط المنقطع، خاصة في القيم الأكبر، مما يؤكد أن النموذج يميل إلى المبالغة في التقدير.

يوضح الجدول (2) قيم المقاييس الإحصائية المدروسة، بالنسبة لقاعدة بيانات PVGIS، بلغ متوسط الخطأ المطلق بين التقديرات والقيم الفعلية ( $MAE=300.49 \text{ Wh/m}^2$ )، ومتوسط الخطأ المطلق النسبي ( $rMAE=5.56\%$ )، ما يعني أن متوسط الخطأ يشكل نسبة ضئيلة من مقياس الإشعاع. ( $NSE=0.96$ ) وهي قيمة قريبة جداً من 1 تبين أن النموذج يقدم تنبؤات دقيقة مقارنة باستخدام متوسط القيم الفعلية. خطأ متوسط ( $MBE=-43.75 \text{ Wh/m}^2$ )

و( $rMBE=0.81\%$ ), مما يدل على أن قاعدة بيانات PVGIS تقدم تقديرات أقل قليلاً من القيم الحقيقية، لكن هذا التحيز ضئيل. الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء ( $RMSE=391.4 \text{ Wh/m}^2$ )

و( $rRMSE=7.24\%$ ), وهو مؤشر على أن الأخطاء الكبيرة تبقى محدودة نسبياً. معامل التحديد ( $R^2=0.96$ ), يعني أن 96% من التغير في البيانات الفعلية يمكن تفسيره بواسطة PVGIS. تُظهر نتائج المقاييس الإحصائية أن

أداء قاعدة بيانات PVGIS ممتاز، أخطاء نسبية منخفضة (< 6%), انحياز ضئيل (< 1%), ودقة تنبؤية عالية ( $NSE, R^2$ ). يظهر نموذج السماء الصافية البسيط أداءً مقبولاً في تقدير الإشعاع الشمسي اليومي السنوي ( $rMAE=12.6\%$ ) و( $MAE=680.7 \text{ Wh/m}^2$ ) حيث إن ( $RMSE=979.9 \text{ Wh/m}^2$ )

ما يدل على وجود خطأ متوسط كبير نسبياً. يظهر النطاق الجيد إلى المقبول. يظهر (MBE=548.3 Wh/m<sup>2</sup>) الإيجابي تحيزاً نحو تقدير أعلى من القيم الحقيقة (10.15%). أما

PVGIS تكون أعلى على المدى الزمني الطويل (الشهري والسنوي) مقارنةً بالمدى الزمني القصير (اليومي واللحظي). وهذا يبرر أن النماذج قادرة على التقاط الأنماط العامة للإشعاع الشمسي على فترات زمنية أطول، بينما قد تتأثر بشكل كبير بالعامل الجوية اللحظية التي يصعب التنبؤ بها بدقة في التوقعات اللحظية. أظهرت قواعد بيانات PVGIS دقة أعلى في التنبؤ بالقيم السنوية، مما يجعله خياراً موثوقاً لخطيط مشاريع الطاقة الشمسية أو حساب الأداء على المدى الطويل. بالنسبة لنموذج السماء الصافية البسيط، فإنه يميل إلى المبالغة في تقدير الإشعاع الشمسي، مما يجعله خياراً لتقيير الحد الأقصى للإشعاع. أو للاستخدام في فلترة البيانات والتتأكد من جودتها. مثل أن يكون عتبة أقصى إشعاع. فإذا كانت القيمة الفعلية المسجلة للإشعاع الشمسي أعلى بكثير من قيمة نموذج السماء الصافية، يشير ذلك إلى خطأ في القياس أو خلل في الجهاز. باختصار يعمل نموذج السماء الصافية البسيط كأداة مرجعية للتقييم والتحقق من جودة البيانات بدلًا من كونه أدلة تنبؤ دقيقة.

بشكل عام، يفضل دائمًا القياسات الأرضية للإشعاع الشمسي بسبب الدقة العالية، سواء للإشعاع في المستوى أو الإشعاع الأفقي. تدعم نتائج البحث فكرة أن النماذج الرياضية وقواعد البيانات المستندة إلى الأقمار الصناعية يمكن أن تكون أدوات لتقدير الإشعاع الشمسي، ومع ذلك، يجب استخدامها بحذر عند التنبؤ بالقيم اليومية أو اللحظية، مع الأخذ في الاعتبار أن توقعاتها تكون أكثر موثوقية عند التعامل مع القيم الشهرية والسنوية. ولكنها ستضيف إلى عدم اليقين (uncertainties) في الدراسة. كما نوصي بما يلي:

- دراسة موثوقة قواعد بيانات ونماذج أخرى لتقدير الإشعاع الشمسي الأفقي.
- دراسة موثوقة تقدير الإشعاع الشمسي المائل.
- اختيار موقع آخر للدراسة.

#### 4. الخلاصة والتوصيات:

التصميم المثالي للأنظمة الشمسية ودراسة أدائها يعتمد بشكل رئيسي على مدى دقة تقدير الإشعاع الشمسي للموقع، ولقلة البيانات الأرضية الفعلية زاد الاعتماد على قواعد بيانات الأقمار الصناعية ونماذج تقدير الإشعاع الشمسي، في هذه الدراسة تم تقييم موثوقية نموذج السماء الصافية البسيط، وقواعد بيانات PVGIS في تقدير الإشعاع الشمسي الأفقي GHI لمنطقة تاجوراء وذلك بمقارنتها مع القيم الفعلية، قدمة المقاييس الإحصائية مثل معامل التحديد والخطأ النسبي للجذر التربيعي لمتوسط المربعات والخطأ النسبي في متوسط الانحياز والخطأ النسبي المطلق المتوسط وكفاءة ناش-سوتكليف عمل قوي في التقييم. كان الأداء العام لقواعد بيانات (PVGIS) ممتاز، يقدر الإشعاع اليومي السنوي بطريقة دقيقة (خطأ منخفض نسبياً، تحيز ضئيل)، مع علاقة قوية واضحة بين القيم الفعلية والمقدرة. أظهرت MAE، rRMSE، RMSE ومقبول نسبياً (5-7%)، (NSE 0.96) أداء قوي يتفوق على استخدام المتوسط، (MBE=-0.81%) انحياز سلبي طفيف، ( $R^2=0.96$ ) تبين أن التقديرات تتبع القيم الفعلية بدقة. يُظهر نموذج السماء الصافية أداءً مقبولاً في تقدير الإشعاع الشمسي اليومي السنوي، حيث بلغ متوسط الخطأ المطلق ( $MAE=680.7 \text{ Wh/m}^2$ ) وخطأ ( $RMSE=979.9 \text{ Wh/m}^2$ ). نسبة الخطأ النسبي وصالت إلى (rRMSE=18.1%) و( $MAE=12.6\%$ )، يملك النموذج تحيز إيجابي ( $MBE=+548.3 \text{ Wh/m}^2$ )، معامل الارتباط الخطي ( $rMBE=+10.15\%$ )، ( $R^2=0.84$ ) يبرز تطابقاً في الاتجاه العام بين التقديرات والقيم الفعلية، في حين أن كفاءة ناش-سوتكليف (NSE= 0.75) تبرر أن أداء التنبؤ متوقف على متوسط القيم الفعلية، ولكنه لا يزال دون مستوى الدقة العالية.

بناءً على نتائج الدراسة يمكن استنتاج أن دقة التنبؤ بالإشعاع الشمسي باستخدام نموذج السماء صافية

- simulation software's: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant. *Int. J. Eng. Sci. Invent.* **2018**, *7*, 11–24. [[CrossRef](#)]
- [2] Lindig, S.; Louwen, A.; Moser, D.; Topic, M. Outdoor PV System Monitoring—Input Data Quality, Data Imputation and Filtering Approaches. *Energies* **2020**, *13*, 5099. [[CrossRef](#)].
- [3] Usman, Z.; Tah, J.; Abanda, H.; Nche, C. A Critical Appraisal of PV-Systems' Performance. *Buildings* **2020**, *10*, 192. [[CrossRef](#)]
- [4] Reno, M.J.; Hansen, C.W.; Stein, J.S. *Global Horizontal Irradiance Clear Sky Models: Implementation and Analysis*; SAND2012-2389; Sandia National Laboratories: Albuquerque, NM, USA, 2012. [[CrossRef](#)]
- [5] Aqila, A.A.; Nassar, Y.F.; El-Khozondar, H.J. Determining the Least Risky Solar Radiation Transposition Model for Estimating Global Inclined Solar Irradiation. *Sol. Energy Sustain. Dev.* **2021**, *11*, 28–40 [[CrossRef](#)]
- [6] AlFaraj, J.; Popovici, E.; Leahy, P. Solar Irradiance Database Comparison for PV System Design: A Case Study. *Sustainability* **2024**, *16*, 6436. [[CrossRef](#)]
- [7] Psiloglou, B.E.; Kambezidis, H.D.; Kaskaoutis, D.G.; Karagiannis, D.; Polo, J.M. Comparison between MRM simulations, CAMS and PVGIS databases with measured solar radiation components at the Methoni station, Greece. *Renew. Energy* **2020**, *145*, 1989–2005. [[CrossRef](#)]
- [8] Mahachi, T.B.; Rix, A.J. Comparison of Various Long Term Averaged Meteorological Data Sources for a Site in South Africa. In *2017 Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC)*, Stellenbosch, South Africa, 2017; pp. 1–6. [[CrossRef](#)]
- [9] Kwarikunda, N.; Chiguvare, Z. Performance Analysis of Clear Sky Global Horizontal Irradiance Models: Simple Models Adapted for Local Conditions. *J. Renew. Energy* **2021**, *2021*, 4369959. [[CrossRef](#)]
- [10] The Libyan Centre for Solar Energy Research and Studies. [[CrossRef](#)]
- [11] Duffie, J.A.; Beckman, W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2013.
- [12] Mendyl, A.; Mabasa, B.; Bouzghiba, H.; Weidinger, T. Calibration and Validation of Global Horizontal Irradiance Clear Sky Models

- دراسة البارومترات الأخرى المهمة في الأنظمة الكهروضوئية مثل درجة حرارة اللوح وخرج الطاقة الكهربائية ودرجة حرارة الجو.

**تسميات:**

PV	Photovoltaic
PSH	Peak Sun Hour
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
GHI	Global Horizontal Irradiance
CSERS	The Libyan Centre for Solar Energy Research and Studies
AM	Air Mass
Z <sub>s</sub>	Zenith Angle
Tr	Transmittance
K	Extinction Coefficient
dr	Relative Earth-Sun Distance
G <sub>o</sub>	Extraterrestrial Irradiance
G <sub>sc</sub>	Solar Constant
DQRs	Data Quality Routines
R <sup>2</sup>	Coefficient of Determination
RMSE	Root Mean Square Error
rRMSE	Relative Root Mean Square Error
MBE	Mean Bias Error
rMBE	Relative Mean Bias Error
MAE	Mean Absolute Error
rMAE	Relative Mean Absolute Error
NSE	Nash–Sutcliffe Efficiency

**Author Contributions:** All authors have made a substantial, direct, and intellectual contribution to the work and approved it for publication.

**Funding:** This research received no external funding.

**Data Availability Statement:** The data are available at request.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgements:** We extend our sincere thanks and appreciation to The Libyan Centre for Solar Energy Research and Studies for providing the data used in this paper.

**المراجع:**

- [1] Kumar, N.H.; Bora, B.; Banerjee, C.; Panwar, B.S. Comparison of different PV power

- Photovolt. Res. Appl.* **2021**, *29*, 241–255. [[CrossRef](#)]
- [15] Qadeer, A.; Khan, M.E.; Alam, S. Estimation of Solar Radiation on Tilted Surface by Using Regression Analysis at Different Locations in India. *Distrib. Gener. Altern. Energy J.* **2021**, *35*, 1–18. [[CrossRef](#)]
- against McClear Clear Sky Model in Morocco. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 320. [[CrossRef](#)]
- [13] [PVGIS](#).
- [14] Livera, A.; Theristis, M.; Koumpil, E.; Theocharides, S.; Makrides, G.; Sutterlueti, J.; Stein, J.S.; Georghiou, G.E. Data processing and quality verification for improved photovoltaic performance and reliability analytics. *Prog.*

### الملحق (أ).

جدول أ-1: الإشعاع الشمسي اليومي لسنة 2021

Day	الفطلي Wh\m <sup>2</sup>	C-Sky Wh\m <sup>2</sup>	PVGIS Wh\m <sup>2</sup>	Day	الفطلي Wh\m <sup>2</sup>	C-Sky Wh\m <sup>2</sup>	PVGIS Wh\m <sup>2</sup>	Day	الفطلي Wh\m <sup>2</sup>	C-Sky Wh\m <sup>2</sup>	PVGIS Wh\m <sup>2</sup>
1	3223	2946	3406	123	6518	7893	6217	245	6435	7028	6494
2	3491	3070	3532	124	7650	7958	7086	246	6311	6988	6300
3	1985	3060	2445	125	5810	7983	6036	247	5987	6946	5894
4	3674	3097	3655	126	6857	7929	6578	248	5127	6901	5010
5	3471	3098	3694	127	5533	7987	6096	249	6135	6862	6136
6	3308	3126	3552	128	8093	8075	7327	250	6327	6817	6843
7	3083	3129	3439	129	8306	8097	7888	251	5578	6422	5666
8	3280	3160	3494	130	7615	8119	7453	252	6401	6730	6258
9	2926	3120	2718	131	7822	8123	7441	253	5175	6659	5438
10	3443	3200	3458	132	7147	8090	7753	254	5470	6641	5841
11	2240	3201	3000	133	8281	8181	7559	255	6072	6577	6622
12	2358	3186	2323	134	8195	8198	8037	256	6028	6551	5937
13	1324	3066	1322	135	8292	8220	7452	257	6493	6504	6412
14	2202	3239	1558	136	8376	8238	7727	258	6478	6458	6162
15	2979	3305	3077	137	7820	8255	7736	259	5936	6391	5817
16	2993	3335	3251	138	7754	8272	7314	260	6153	6346	6450
17	1959	3106	2231	139	7123	8099	7364	261	6258	6298	5806
18	3510	3403	3429	140	7646	8304	7323	262	6225	6251	6346
19	3061	3151	3463	141	8152	8321	8269	263	6012	6202	5777
20	3962	3458	3958	142	8030	8336	7313	264	5809	6130	5622
21	3580	3485	3721	143	8169	8350	7744	265	5789	6105	6230
22	4060	3518	4040	144	6325	8363	5420	266	5445	6055	5346
23	3694	3531	3836	145	3758	8263	3955	267	5537	6006	5811
24	3484	3579	3623	146	7578	8365	7696	268	5567	5957	5549
25	3109	3589	3419	147	6110	8393	5872	269	5620	5909	5419
26	2737	3613	3385	148	7468	8284	7791	270	5740	5858	5978
27	3813	3678	3756	149	7708	8402	7329	271	5613	5809	5321
28	3987	3713	4082	150	7552	8431	7510	272	5205	5757	5325
29	4152	3762	4159	151	8042	8444	7875	273	4850	5707	5476
30	4180	3798	4231	152	7638	8459	7316	274	5389	5658	5198
31	3169	3832	3064	153	5640	8147	5107	275	5456	5608	5158
32	3708	3863	4034	154	6542	8471	5859	276	5508	5558	5597
33	3861	3815	4154	155	8083	8478	8389	277	5379	5490	5061

34	4081	3934	4194	156	7846	8462	7178	278	5379	5440	5166
35	4326	3984	4400	157	7623	8413	7563	279	5101	5388	5198
36	4540	4028	4448	158	6816	8494	6346	280	5412	5341	5208
37	4168	4081	4194	159	8131	8523	7344	281	5294	5266	4362
38	632	2477	1061	160	4090	8529	3489	282	4196	5216	3566
39	4480	4153	4535	161	8333	8534	7806	283	5359	5190	5257
40	4315	4193	4465	162	8414	8538	8458	284	4326	5091	3904
41	4610	4238	4666	163	8452	8525	7582	285	4540	5049	3896
42	4764	4297	4566	164	8502	8546	8352	286	4497	5022	4698
43	4934	4341	4748	165	8521	8549	7703	287	2896	4591	3065
44	4664	4381	4528	166	8645	8551	7929	288	3886	4880	3444
45	1931	4305	2566	167	8487	8554	8211	289	4069	4889	4027
46	1991	4237	1939	168	8280	8553	7536	290	4381	4820	4204
47	4754	4534	4738	169	7599	8521	7976	291	2240	4569	2685
48	5219	4569	4994	170	7716	8538	7153	292	4689	4735	4287
49	5250	4616	5124	171	7660	8538	7931	293	4319	4688	4388
50	5294	4663	5147	172	7657	8538	7159	294	4346	4622	4425
51	3604	4722	3279	173	7524	8537	7199	295	3772	4441	4052
52	3594	4689	3754	174	7914	8536	7616	296	3646	4476	4142
53	5284	4821	5048	175	7721	8537	7221	297	3881	4421	4036
54	4355	4820	4781	176	7213	8535	7638	298	4494	4457	4147
55	4387	4897	4341	177	7770	8530	7345	299	3369	4345	3853
56	3051	4897	2778	178	7547	8527	8040	300	3211	4282	3988
57	4761	4998	5094	179	7700	8539	7302	301	3012	4205	3798
58	4368	5067	4433	180	7799	8520	8027	302	4463	4265	4131
59	5500	5130	5341	181	7778	8515	7537	303	3876	4186	3831
60	5237	5173	5339	182	7851	8513	7491	304	4025	4161	3932
61	5356	5231	5287	183	7790	8508	7946	305	4312	4136	4113
62	3796	5179	2564	184	7824	8482	7466	306	4214	4097	4162
63	4949	5287	3910	185	7778	8476	8216	307	4243	4057	4086
64	4835	5333	4870	186	7889	8469	7567	308	4182	4015	3927
65	4717	5385	4868	187	7984	8456	8177	309	2531	3845	2600
66	5378	5459	5225	188	8175	8474	7700	310	3374	3938	3382
67	5063	5473	5299	189	8167	8466	7937	311	2331	3841	2217
68	4181	5557	5267	190	7979	8457	7927	312	2054	3659	2221
69	3477	5604	3685	191	7853	8429	7455	313	1399	3246	1822
70	5772	5699	5359	192	8233	8438	8405	314	2685	3748	2385
71	6034	5749	5741	193	8155	8427	7670	315	4157	3742	3706
72	2397	5794	2471	194	7482	8396	8037	316	3709	3676	3663
73	5110	5690	5388	195	7533	8385	7303	317	3376	3666	3009
74	5527	5899	5480	196	7681	8351	7838	318	3513	3636	3353
75	5872	5949	6041	197	7371	8339	7232	319	4011	3609	3662
76	4858	5995	5587	198	7429	8351	7323	320	3659	3571	3408
77	5325	6024	5374	199	7822	8338	7994	321	3903	3532	3569
78	4345	6095	4879	200	7698	8324	7259	322	3121	3518	3249
79	5686	6149	5891	201	8018	8309	8332	323	1796	3424	2463

80	4508	6191	4169	202	7937	8308	6343	324	3118	3460	3120
81	4719	6237	4704	203	8027	8279	8131	325	3739	3418	3180
82	4942	6256	4597	204	8128	8262	7509	326	2642	3312	2574
83	3172	6134	2577	205	8164	8246	7553	327	1923	3288	1819
84	4643	6218	5349	206	8040	8227	7934	328	2601	3326	2920
85	6817	6464	6646	207	7875	8209	7378	329	3178	3303	2777
86	6923	6510	6816	208	8048	8191	8231	330	3685	3277	3323
87	5847	6538	5708	209	8005	8172	7299	331	3103	3259	3222
88	6766	6602	6964	210	7824	8152	8099	332	2563	3216	2754
89	7055	6648	6415	211	7905	8132	7235	333	3335	3216	3225
90	6937	6693	6645	212	7684	8093	7370	334	3480	3200	3202
91	6969	6737	6845	213	7630	8072	7495	335	3578	3182	3250
92	6859	6797	6636	214	7558	8050	7251	336	3568	3165	3500
93	5669	6824	6171	215	7673	8028	7822	337	3041	3139	3190
94	2550	6472	2701	216	7710	8003	7202	338	1943	2977	1816
95	4186	6662	5689	217	7356	7958	7738	339	3680	3120	3611
96	5526	6524	6163	218	7345	7955	6885	340	2423	2666	2658
97	6676	7009	6711	219	7466	7931	7203	341	2736	3030	2677
98	4725	7003	5706	220	7319	7905	7279	342	3480	3072	3508
99	5919	7006	5365	221	7476	7879	7056	343	3426	3070	3474
100	6609	7141	6618	222	7308	7852	7644	344	3456	3061	3442
101	6527	7168	6529	223	7437	7825	7006	345	2943	2958	2768
102	4664	7021	4617	224	6651	7775	7236	346	2892	3019	3040
103	3222	7160	4481	225	6964	7747	6693	347	1535	2771	1722
104	7367	7280	6909	226	7449	7738	7166	348	2510	2923	3107
105	6838	7330	7153	227	7322	7708	7236	349	3421	2984	3219
106	5573	7283	6005	228	7436	7678	7007	350	2727	2934	2338
107	5544	7328	6297	229	7200	7628	7527	351	2440	3017	3109
108	5371	7255	5365	230	7019	7596	6738	352	518	1594	1120
109	7460	7499	7194	231	6691	7564	7095	353	3293	2934	3250
110	7583	7540	7822	232	6939	7531	6644	354	3377	2963	3357
111	7641	7567	7051	233	6672	7498	6660	355	3347	3003	3417
112	7175	7599	6996	234	7272	7464	7230	356	3293	2998	3423
113	3991	7626	4357	235	7060	7429	6819	357	2832	2954	3143
114	5495	7627	6468	236	7266	7394	7463	358	3277	3010	3301
115	7961	7710	8048	237	7071	7356	6575	359	3123	3013	3189
116	7406	7733	6749	238	6581	7320	6760	360	3275	3013	3279
117	6283	7755	6498	239	6539	7283	6592	361	3235	3017	3293
118	5890	7701	5639	240	6668	7200	6492	362	3410	3034	3307
119	6351	7676	5636	241	6135	7204	6436	363	3448	3043	3312
120	5477	7835	5872	242	6547	7147	6446	364	1281	2670	1394
121	6178	7770	6388	243	6563	7108	6977	365	2952	2971	3391
122	6693	7900	6883	244	6328	7068	6205				