

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Industrial

Academic Year 2020-21

Performance Evaluation of Short-term Solar Radiation Forecasting Tool “HRforecast”

Evaluación de la herramienta de predicción de Irradiancia Solar a Corto Plazo “HRforecast”

Author: José Joaquín Becerra Pérez

Co-Director: Isidoro Lillo Bravo

Co-Director: Miguel Larrañeta Gómez-Caminero

Dpto. Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería



Index

1. Abstract	11
2. Introduction	12
3. Objective	15
3.1. Research Questions	16
4. Literature Review	17
4.1. Solar Irradiance	17
4.2. Solar Irradiance Forecasting Techniques	17
4.2.1. Comparison between Techniques	19
4.3. HRForecast	19
4.4. Forecast Validation	20
4.5. Indexes	20
5. Method	25
5.1. Meteorological Database	25
5.2. Data Processing	25
6. Results	27
6.1. Distribution Approach.....	27
6.1.1. Kolmogorov-Smirnov Test results for 1-min DNI time-series	27
6.1.2. Kolmogorov-Smirnov Test results for 1-hour DNI time-series.....	37
6.1.3. Kolmogorov-Smirnov Test results for daily DNI time-series.....	39
6.1.4. Kolmogorov-Smirnov Test results for 1-min GHI time-series	41
6.1.5. Kolmogorov-Smirnov Test results for 1-hour GHI time-series	51
6.1.6. Kolmogorov-Smirnov Test results for daily GHI time-series	52
6.1.7. Stability Analysis	55
6.1.8. Standard Deviations of Increments	59
6.2. Energy Approach.....	65
7. Discussion	68
8. Conclusions and Future Work	73
9. References.....	75
10. Annex	76
10.1. Skill Score for RMSE (1-min DNI).....	76

10.2. Skill Score for RMSE (1-hour DNI)	88
10.3. Skill Score for RMSE (daily DNI)	97
10.4. Skill Score for RMSE (1-min GHI).....	106
10.5. Skill Score for RMSE (1-hour GHI)	117
10.1. Skill Score for RMSE (daily GHI daily).....	126

Resumen

El documento aquí presente consiste en una evaluación del rendimiento de la herramienta de previsión de la radiación solar a corto plazo desarrollada por el grupo de Termodinámica y Energías Renovables(GTER) "HRForecast".

La predicción de la irradiancia solar está suscitando un interés creciente entre académicos y expertos, dada la innegable contribución que se supone que tendrán las fuentes de energía renovables solares en el parque energético del futuro y dado el carácter altamente variable y difícilmente predecible de su naturaleza.

Este tipo de predicción no sólo permite prever la producción energética de estas fuentes y reprogramar el suministro de energía y las operaciones de la red en torno a ellas, sino que también nos da información sobre la meteorología en el horizonte a corto plazo, permitiéndonos disponer de una valiosa información sobre los eventos meteorológicos inminentes en relación con las variaciones de la irradiancia, que también son útiles para la operación y el mantenimiento de las tecnologías solares.

Para ello, el grupo de Termodinámica y Energías Renovables de la Universidad de Sevilla pone a disposición en su página web una herramienta de previsión de irradiancia: esta es "HRForecast".

Esta herramienta consiste en un modelo estadístico que recoge información de una serie de fuentes de información y la fusiona en tres previsiones diferentes con un paso de 1 minuto (resolución en minutos) para el día correspondiente, el día siguiente y el día dentro de 2 días en el futuro. La irradiancia se pronostica tanto en términos de irradiancia horizontal global como de irradiancia normal directa.

El objetivo de esta investigación es evaluar dicha herramienta, tanto en términos de contenido energético como de variabilidad de la distribución, incluyendo así una reseña sobre el estado actual de la investigación en la evaluación de series de irradiancia sintética.

La investigación incluirá inicialmente un análisis de qué enfoques sobre el tema están ahora mismo presentes en la literatura disponible y qué parámetros son los más adecuados para evaluar las previsiones de irradiancia solar obtenidas con determinaciones numéricas adicionales de la precisión y aceptabilidad de las primeras.

La discusión sobre la investigación no incluye una evaluación sobre el rendimiento de la herramienta, sino también una discusión sobre la idoneidad de las metodologías seguidas para evaluar series con características de alta resolución y una comparación con los resultados obtenidos en investigaciones similares realizadas por investigadores de referencia.

El sistema energético mundial está cambiando hoy en día, la evidencia sobre la insostenibilidad del modelo actual, la reticencia hacia la energía nuclear y los problemas medioambientales relacionados con la contaminación del aire y del agua ponen de manifiesto que debemos conducir nuestros sistemas energéticos hacia una vía más sostenible en la que las fuentes de energía renovables no pueden ser ignoradas.

Entre los campos de aplicación de la tecnología de las energías renovables, se encuentra la energía solar, que actualmente se encuentra en una fase de rápido desarrollo que despierta el interés de los diferentes agentes interesadas.

Las ventajas de la utilización de las fuentes de energía solar renovable son variadas, pero también lo son sus limitaciones. En primer lugar, una de las principales desventajas es que unas condiciones inadecuadas de temperatura y humedad pueden hacer que las diferentes tecnologías no rindan lo suficiente y, por tanto, sean menos eficientes. Además, la dependencia de una fuente de energía muy fluctuante como el sol hace que la producción de energía de esta tecnología sea extremadamente variable, lo que hace que los operadores de la red y los agentes de compra tengan que esforzarse para ajustar el programa de energía.

Estas tecnologías dependen en gran medida de la irradiancia solar, ya que es su principal y única fuente de energía y determinará no sólo su despliegue energético total, sino también su eficiencia global. Para que estas tecnologías prosperen es vital tener una estimación previa sobre su rendimiento. Esta es la razón principal por la que actualmente existe un profundo interés fomentado en torno a la idea de estimar la potencia desplegada por estas tecnologías solares, y aquí es donde entra en juego nuestra herramienta revisada "HRforecast".

Antes de describir esta herramienta de previsión de la irradiancia, profundizaremos en por qué son importantes estas irradiancias, a quiénes son útiles y para qué fines.

El principal problema que hay que abordar aquí, como ya se ha explicado, es la gran dependencia de las tecnologías solares de la irradiancia solar. Se trata de un parámetro que, obviamente, no se puede controlar, pero sí se puede predecir. A través de la previsión de la irradiancia solar se puede aumentar el rendimiento económico de los proyectos de energía solar, incluso en sus primeras etapas, ya que podemos a través de la previsión de la irradiancia determinar el potencial de irradiancia de un sitio, lo que determinará la cantidad de resultado energético que obtendremos si decidimos instalar la tecnología solar en el lugar, determinando así si el proyecto es rentable o no, lo que es claramente del interés de los promotores del proyecto. En el caso de los proyectos de gran envergadura, las previsiones son útiles porque dan una estimación de la potencia total que tendremos disponible para desplegar, lo que nos permite prever cuánta energía podemos vender en las apuestas y nos da una primera idea de los próximos beneficios del ejercicio.

Hay que hacer una mención especial a las tecnologías fotovoltaicas, ya que son fuentes de energía instantáneas muy variables que en la mayoría de los casos se conectan directamente a la red, por lo que a menudo se les acusa de generar tensión e inestabilidad en la red. La previsión de la irradiancia puede contribuir a resolver esta problemática. Si podemos obtener información detallada sobre cuándo se van a producir estas rampas de salida, se podrían programar y realizar las operaciones de red adecuadas, con el fin de garantizar la estabilidad de la red. Dado que el tema de nuestro trabajo es la previsión a corto plazo, algunas de estas operaciones pueden incluir la gestión de la demanda, la programación flexible de otros recursos de generación ajustables o la compra en las ventas de electricidad en primera línea.

Pero no sólo estos grandes actores son considerados en el ámbito de la previsión de la irradiancia, los pequeños usuarios finales también pueden sacar provecho de ellos. Por ejemplo, muchas de estas tecnologías de generación solar están descentralizadas y se instalan en la propiedad del usuario, si estos usuarios pudieran saber con ventaja en qué secciones horarias precisas su tecnología solar producirá la mayor cantidad de rendimiento, podrían reajustar su demanda de energía en consecuencia (por ejemplo, programando las tareas domésticas de alta demanda energética).

A continuación veremos qué características deberían incluir estas previsiones para cumplir con las expectativas de los agentes interesados.

Las características relevantes a tener en cuenta son tanto la resolución temporal como el horizonte de previsión, especialmente cuando existe un mercado diario con tarifas flexibles.

Los operadores de planta pueden tal vez ser el grupo más desigual de todos, ya que sus tareas relacionadas con la irradiancia solar incluyen el control, la planificación y el mantenimiento. El control es, naturalmente, la tarea más orientada al corto plazo y solicita resoluciones temporales no superiores a 1 minuto y horizontes que se extienden hasta los 15 minutos siguientes, mientras que la planificación de la operación no exige resoluciones tan finas, que sí pueden ampliarse a 10 minutos de resolución en un horizonte de 6 horas. En ambos casos, la previsión por satélite es la fuente de previsión recomendada. Por otro lado, para la programación del mantenimiento se sugieren métodos NWP, con resoluciones recomendadas de una hora con los 10 días siguientes como horizonte. En cualquier caso, una tasa de refresco con una frecuencia de 3 horas será satisfactorio.

Por otro lado, los operadores de la red se centran más en el largo plazo y prefieren recibir sus previsiones con una resolución de 15 minutos a una hora. El horizonte previsto cubre aquí la parte restante del día previsto, y aquí debemos distinguir entre los operadores de red que operan en un mercado diario o en un mercado diario, ya que el día previsto será, respectivamente, el próximo o el actual.

El caso de los operadores de la red en el mercado diario tiene grandes similitudes con aquellos interesados a los que estas previsiones les son útiles para impulsar nuevas políticas en el contexto de tarifas orientadas al mercado, así como para fines de investigación relacionados con los estudios de viabilidad de dichos mercados.

Con todo esto en mente, se desarrolla la herramienta de previsión de irradiancia a corto plazo conocida como "HRForecast".

HRForecast es una herramienta abierta y gratuita que proporciona a los usuarios una previsión de alta resolución, orientada al tiempo corto con un horizonte de predicción de hasta dos días de antelación, que se refresca diariamente, y que tiene la ventaja de no suponer ningún coste económico para el usuario final.

Esta herramienta recibe sus entradas en forma de información temporal y espacial (latitud y longitud, fecha) del lugar estudiado, así como estimaciones de nubosidad a partir de un conjunto seleccionado de fuentes de información (eltiempo.es se erige como la preferida). La irradiancia de cielo despejado se calcula a través del modelo AB ajustado a la información del sitio y estas previsiones de cielo despejado se ponderan posteriormente a través de la información de entrada de la nubosidad para obtener predicciones de la irradiancia normal directa prevista y de la irradiancia horizontal global.

El resultado de esta herramienta son seis series diferentes de previsiones de irradiancia directa y global en forma de series de datos de 1 minuto de resolución correspondientes a los tres días que van desde hoy hasta dentro de 2 días. Esto significa que cada día, la herramienta producirá una previsión tanto del DNI como del GHI para cada minuto incluido en ese día, en el día siguiente y en el día de 2 días después y, en consecuencia, la irradiancia de cada minuto del año se habrá previsto tres veces: ese día, el día anterior y dos días antes.

Todo lo anterior juega a su favor, sin embargo su mayor ventaja podría radicar en su simplicidad, sin incluir ningún algoritmo difícil de entender que dificulte la interpretación de los resultados. Además, es extremadamente sencillo de utilizar, ya que el muestreo de la información de la fuente y el procesamiento de los datos se realiza de forma totalmente automática y sólo se deja al usuario la evaluación de los resultados. Las ligeras operaciones algorítmicas implicadas también implican que los cálculos se realizan de forma comparativamente rápida y sin requerir recursos computacionales adicionales.

Las principales limitaciones que encontraremos a la hora de evaluar el rendimiento de la herramienta son que debemos ser extremadamente cautelosos a la hora de seleccionar la metodología a seguir para evaluar los resultados. Mientras que algunas apreciaciones iniciales pueden inducirnos a la idea de que la evaluación de la predicción de la irradiancia consiste únicamente en evaluar los datos pronosticados, el verdadero esfuerzo viene cuando se comparan varias predicciones, ya que debemos tener cuidado de que éstas no sean siempre comparables, y ahí está el problema. La comparación entre trabajos está fuertemente sesgada por un amplio abanico de factores que van desde el lugar hasta la ubicación temporal, la resolución de los datos o el horizonte de previsión, por lo que debemos asegurarnos previamente de que se está aplicando la técnica de evaluación adecuada.

La previsión de la irradiancia no consiste en evaluar las previsiones y clasificarlas en "buenas" o "malas", sino en determinar si son apropiadas para proporcionar al usuario la información que demanda.

A continuación procederemos a explicar el funcionamiento de la herramienta estudiada.

HRforecast es una herramienta de previsión determinista que muestrea datos de diferentes fuentes, así como una serie de entradas diferentes y da un vector de irradiación como salida principal.

El proceso principal es el siguiente:

1. Localización del emplazamiento: La información sobre la ubicación, especialmente la longitud y latitud, es esencial para obtener los datos adecuados.
2. Fecha: Se asume el formato GMT.
3. Entrada adicional p , que nos indicará en qué medida asumimos la previsión del día anterior. A este parámetro se le puede asignar cualquier valor entero que vaya de 0 a 2, en el que 0 implica que no se utiliza el vector del día anterior, mientras que 1 y 2 significan que se incluye parcial o totalmente.
4. Se debe crear un archivo.txt, la primera columna contiene la fecha (GMT) las restantes, los diferentes índices de nubosidad de las fuentes de información.
5. Representación gráfica, sobre todo para asegurar que hay correlación entre las fuentes. En caso de que no coincidan en algún aspecto, el tiempo.es se situará por encima del resto como la fuente más fiable.
6. La Irradiancia de Cielo Claro se calcula tanto para el GHI como para el DNI para cada día del año.
7. Atenuación de nubes, el índice de nubosidad del paso 4 se modifica mediante ecuaciones exponenciales de segundo grado que penalizarán los índices de nubosidad bajos y potenciarán el impacto de los más altos.
8. Irradiancia prevista (tanto DNI como GHI) calculada a partir del ICS anterior y los índices de nubosidad del paso 4. Esto se hace mediante el producto de la irradiancia de cielo claro, que es tanto el DNI como el GHI, multiplicado por un factor de atenuación dado por el índice de nubosidad que se dio como input.
9. La reducción de escala a valores de resolución de 1 minuto, se realiza mediante un modelo ND.

El objetivo del siguiente documento no es otro que la evaluación de la herramienta "HRForecast".

Para evaluar el producto de esta herramienta, es necesario concebir un procedimiento de evaluación. Dado que no existe una metodología sencilla para este tipo de evaluación, también es aconsejable realizar una revisión bibliográfica sobre diferentes sistemas y parámetros de validación. Se trata de determinar el grado de aceptación de la previsión obtenida a partir de la herramienta, aunque las expectativas del usuario final siguen sin estar claras. Una previsión de irradiación se realiza siempre con un propósito determinado, por lo que será válida en función de cómo se cumpla dicho propósito. Además, las diferentes partes interesadas (es decir, el operador de la red, el comprador de la subasta, etc.) pueden tener intereses distintos al respecto, ya que el propósito final de la predicción puede variar significativamente. A quién sirven estas predicciones y en qué medida es la pregunta que hay que responder con respecto a esta preocupación.

Para cubrir un rango de tiempo adecuadamente amplio (con la consiguiente variedad de condiciones en términos de variabilidad de la serie), tomamos como datos de la muestra todo el periodo del año 2020, es decir, el periodo de tiempo que va desde las 00:00 del 1 de enero de 2020 hasta las 23:59 del 31 de diciembre de ese año.

En esta investigación, nos centramos en el análisis de las series de irradiación normal directa (DNI) y de irradiación horizontal global (GHI). La herramienta es capaz de predecir, tanto para el DNI como para el GHI, 3 previsiones diferentes cada día: para ese día determinado, para el día siguiente y para dos días después. Tanto las series de datos reales pronosticadas como las observadas tienen una resolución de 1 minuto, pero como se trata de una resolución especialmente alta, no es frecuente encontrarla en la literatura. Aunque esto es ciertamente una ventaja de la herramienta y del interés del usuario final, de alguna manera dificulta la comparación con las alternativas encontradas en la literatura. Por esta razón, integramos los datos en las resoluciones de hora y día. La herramienta se ejecuta automáticamente todos los días a las 00:05 horas, pronosticando el GHI y el DNI a una resolución de 1 minuto para el día siguiente (0-días), el día siguiente (1-día) y el día posterior (2-días).

En resumen, analizaremos las previsiones tanto del GHI como del DNI, en el mismo día, con un día de antelación y con 2 días de antelación. Evaluamos las previsiones comparándolas con las series de datos observados medidos en el lugar el periodo estudiado (1 año). Las series sintéticas y observadas se obtienen con una resolución de 1 minuto y últimamente se integran en resolución horaria y diaria, así como en equivalentes de resolución horaria y diaria.

El análisis se realizará tanto en términos de contenido energético como de distribución de las series. Estas series de datos se analizarán a posteriori de la revisión obtenida de la literatura, afirmando así el grado de su fiabilidad y la eficacia global de la herramienta HRForecast. La clave aquí es observar cuál es el comportamiento de la herramienta y cómo se comporta al compararla con otras alternativas, dado que su principio de funcionamiento es bastante simple, y observar el efecto de su naturaleza en su fiabilidad global.

Es por ello por lo que nos formulamos las siguientes preguntas que guiarán nuestra investigación:

Para mejorar el conocimiento sobre la previsión de la irradiación (tanto directa como global), se utilizarán técnicas de análisis de series de datos sintéticos. Con el fin de adquirir conocimientos sobre las diferentes técnicas disponibles, se realizó una investigación sobre las mismas, cuyos resultados figuran en la sección 4 de este documento. En dicha sección se revela que principalmente los enfoques de distribución y energía se erigen como opciones para evaluar las series de datos sintéticos. Estas técnicas se han aplicado a diferentes sistemas de previsión, pero aún no se ha realizado ninguna investigación sobre la herramienta HRForecast. Esta investigación se centrará en la aplicación de dichas técnicas para evaluar la citada herramienta.

Además, esta tesis también tendrá como objetivo evaluar la siguiente metodología y compararla con otras alternativas. Esto significa encontrar posibles errores durante la investigación y presentar sugerencias y mejoras para el uso de esta metodología en futuros trabajos.

Esto lleva a la formulación de las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo podemos evaluar una serie de datos de irradiación pronosticada de alta resolución?

La pregunta de investigación antes mencionada nos lleva también a las siguientes preguntas de investigación secundarias:

¿Qué métodos existen? ¿Cómo se comparan estas metodologías entre sí? ¿Qué parámetros son los más adecuados para el caso? ¿Con qué variables podemos determinar el sesgo?

El análisis de la herramienta se realizará a través de los siguientes parámetros e índices

Las series sintéticas deben evaluarse comparándose con las series observadas tanto en términos de distribución como de energía.

El enfoque de la distribución utiliza principalmente el DNI, el GHI y la *Standard Deviation of Increments* (SDI), que son los parámetros que posteriormente se someten a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, así como el *Stability Index* (SI). Por lo tanto, determinaríamos si la variabilidad de nuestra previsión coincide con la de los datos reales muestreados.

En consecuencia, dejamos el RMSE y la puntuación de habilidad para el enfoque de la energía (a veces denominado enfoque de la distancia en la literatura), que evaluará cómo se asemeja el valor medido de la irradiancia al contenido energético de los valores medidos, cuanto menor sea la distancia entre los valores, mejor será nuestra previsión según dicho enfoque.

Como este trabajo incluirá numerosos parámetros y conceptos, para garantizar una correcta interpretación por parte del lector acerca de qué parámetros y para qué enfoque, se crea la tabla siguiente a modo de resumen

Índices del Enfoque de Distribución				Índices del Enfoque de Energía	
SDI (W/m ²)	SI (binario)	SDI (W/m ²)	KSI (W/m ²)	RMSE (W/m ²)	Skill Score (adimensional)

Tabla - Resumen de los índices y parámetros utilizados

Conclusiones

Los resultados de esta investigación revelaron que la simplicidad del principio de funcionamiento de la herramienta no le impide proporcionar una previsión de calidad, ya que los resultados de las pruebas de evaluación del rendimiento para los tres días previstos están en la línea de lo revisado en la literatura de este trabajo, incluso cuando la previsión se produjo con una alta resolución, algo que es inusual según lo consultado.

Las siguientes conclusiones fueron obtenidas del análisis de los resultados: la herramienta estudiada es capaz de proporcionar previsiones de calidad que se asemejan a las tendencias observadas en la realidad a través de las mediciones *in situ*. Es interesante ver cómo no es posible hacer una distinción clara entre la precisión de las predicciones con proximidades disímiles a la prevista, ya que esto no revela tener ningún efecto medible en la capacidad de la previsión para detectar tendencias, siendo las previsiones que se llamaron con 2 días de antelación las que tienen un parecido similar o incluso mayor que su equivalente del mismo día, sin que haya un patrón o razón distinguible para ello.

Como se ve en la discusión de los resultados, el error medio está en la línea de lo que podría esperarse según la literatura consultada, sin embargo el hecho de que proporcione datos con una alta resolución inusual, que es en realidad una de sus mayores fortalezas en términos de utilidad para el usuario y la autodiferenciación de otras alternativas, no parece ser una ventaja cuando se habla de la calidad general, ya que algunas desviaciones de un único punto reducen los indicadores de rendimiento general, que se puede ver en la sección de enfoque de distribución, donde se observó que los valores de mayor irradiación parecen inclinarse hacia una cierta sobreestimación. No obstante, esto podría compensarse mediante el promedio horario de los datos pronosticados, ya que la reducción de la resolución demostró diluir la desviación individual en cierta medida.

La metodología seguida resultó ser adecuada para el caso de estudio y tanto el enfoque energético como el de distribución alimentaron nuestra investigación con una gran cantidad de diversos índices que abordaron el estudio de la variabilidad de las series con perspectivas variadas, las cuales se complementan para obtener las conclusiones. Sin embargo, la idoneidad del “skill score”, utilizado en el enfoque de energía, como indicador cruzado de error aceptado está por demostrar y se debe impulsar un consenso sobre su aplicabilidad, ya que la actual falta de información validada dificulta drásticamente la obtención de conclusiones de fondo.

Por otro lado, los análisis del RMSE y el test Kolmogorov-Smirnov sobre una serie de indicadores de variabilidad demostraron ser las metodologías más adecuadas de aquellas disponibles y poco hay que decir de estos enfoques extendidos y ampliamente revisados.

Sugirieron que, aunque el rendimiento global de la herramienta es satisfactorio, tiene dificultades en algunos periodos de tiempo inestables de alta variabilidad, que podrían detectarse mediante las técnicas anteriores. Una detección y posterior tratamiento específico de los datos mejoraría el producto final de nuestra herramienta, por lo que esto es sugerible.

En cuanto al trabajo futuro, comprobamos en la sección de discusión, cómo el error de la herramienta es similar a lo que obtuvieron diversos investigadores que también investigaron este aspecto.

De hecho, es sorprendente cómo los resultados de HRForecast se asemejan al RMSE de diferentes investigadores, cuyos modelos y técnicas de previsión eran en gran medida más complejos.

A juzgar por las etapas de elaboración de la previsión descritas en el apartado en el que se explica el funcionamiento de la herramienta, existen en realidad tres posibles inductores de error en el proceso: el cálculo de la irradiancia del cielo claro, la reducción de la escala a una resolución de 1 minuto y la importación del índice de nubosidad y posterior atenuación de las nubes.

Los dos primeros han sido comprobados a fondo por los investigadores del GTER y no se ha podido señalar, en lo que respecta a esta investigación, ninguna sugerencia de mejora. En cambio, el margen de mejora debe residir en el último inductor potencial de errores, es decir, la importación del índice de nubosidad y la atenuación de nubes que le sigue.

La importación de los índices de nubosidad a partir de la fuente ya revisada y validada no esconde ningún escollo mayor, sino que es en la forma de traducir esta información a valiosa para la previsión donde aparecen las primeras restricciones.

Por ejemplo, un índice de nubosidad se da en forma de valor porcentual que indica la cobertura de nubes sobre un área ya definida, pero esto no nos proporciona necesariamente información valiosa sobre cuánto llega la irradiancia al lugar específico de estudio de la herramienta de la presente.

Además, el índice de nubosidad no proporciona información sobre cómo una estructura nubosa puede mitigar la irradiancia solar que incide en el emplazamiento de estudio. Se puede aceptar la hipótesis de que un mayor índice de nubosidad conducirá a una mayor atenuación de la irradiación a través de su viaje por la atmósfera, no obstante, se sabe que no todas las estructuras nubosas cruzan el cielo a diferentes alturas, las que lo hacen en las capas superiores tendrán, por tanto, una menor presión interna, lo que para un cuerpo gaseoso como una nube significa que tiene una densidad reducida, lo que resulta en una menor atenuación de la irradiación solar.

La importación del índice de nubosidad y los pasos de atenuación de las nubes que se aplican actualmente no tienen en cuenta esto y ahí reside el problema.

Por lo tanto, se sugiere encarecidamente que se investigue cómo este efecto podría ser analizado y tratado automáticamente por la herramienta con el fin de estimar de forma más eficiente la atenuación de la irradiación.

Palabras Clave: Predicción, Radiación Solar Global Horizontal, Radiación Directa Normal, Series Sintéticas, Test Kolmogórov-Smirnov, Raíz del Error Medio Cuadrático, *Skill Score*, Índice de Estabilidad, Desviación Estándar de Incrementos.

1. Abstract

The present document contains research on the performance evaluation of the short-term solar radiation forecasting tool developed by the group of Thermodynamics and Renewable energy “HRForecast”.

Solar irradiance forecasting is raising an increasing amount of interest amongst academics and experts given the undeniable contribution that solar renewable energy sources are supposed to hold in the upcoming energy pool and given the highly variable and hardly predictable nature of their nature.

These sort of prediction not only allows us to foresee the energy output of these sources and to reschedule the energy supply and grid operations around them, but they also give us information on the weather on the short-run horizon, allowing us to have valuable information about impending weather events regarding variations in irradiance, which are also useful for solar technologies operation and maintenance.

For this endeavor, the group of Thermodynamics and Renewable Energy Sources of the University of Sevilla, makes available on their website an irradiance forecasting tool: this is "HRForecast".

This tool consists of a statistical model which gathers information from a given array of information sources and merges it into three different forecasts with 1-min step (resolution in minutes) for the pertaining day, the day after and the day 2-days in the future. The irradiance is forecasted both in terms of global horizontal and direct normal irradiance.

The aim of this research is to evaluate such tool, both in terms of energy content and variability of the distribution, including thereby a glance on the current state if the research on synthetic irradiance series evaluation.

The thesis will initially include an analysis of which approaches on the topic are present on the available literature and which parameters are the most suitable for assessing the obtained solar irradiance forecasts with further numeric determinations of the accuracy and acceptability of the former.

The discussion on the research does not include an assessment on the performance of the tool but also a discussion about how suitable the followed methodologies were for assessing series with high-resolution characteristics and a comparison to the results obtained through similar research carried out by reference researchers.

The results of this thesis revealed that the simplicity of the working principle of the tool does not restrains it from providing quality forecast, since the results of the performance evaluation tests for all three forecasted days are in the line of what was reviewed in literature, even when the forecast were produced with an unusual high-resolution.

2. Introduction

The global energy system is shifting nowadays, the evidence about the non-sustainability of the current model, the reluctance towards nuclear energy and the environmental issues related to air and water pollution highlight the fact that we must drive our energy systems into a more sustainable path where renewable energy sources are not to be ignored.

Amongst the application fields of renewable energy technology, we may find solar energy, which is currently under a stage of fast developments which raise interest among different stakeholders.

The advantages of using renewable solar energy sources are varied, but so are their limitations. Firstly, a main disadvantage is that inappropriate temperature and moisture conditions may lead to the different technologies underperforming, therefore becoming less efficient. Additionally, the dependence on a highly fluctuating energy source like the sun makes this energetic technology's power output extremely variable, which makes the grid operators and purchase agents struggle to adjust the energy schedule.

These technologies are heavily dependent on solar irradiance, as it is its primary and only energy source and it will determine not only its total energy deployment, but its overall efficiency as well. In order for these technologies to thrive it is vital to have a previous estimation on how they will perform. This is the main reason why there is currently a deep interest fostered around the idea of estimating the power deployed by these solar technologies, and here is where our reviewed tool “HRforecast” comes into play.

Before describing this irradiance forecasting tool, we will take a deeper look on why this irradiance are important, to whom are they useful and for which purposes.

The main issue to tackle here, as explained before, is the heavy dependance of solar technologies on solar irradiance. This is a parameter that can obviously not be controlled, but it can indeed be predicted. Through forecasting of the solar irradiance the economic yield of solar energy projects can be increased, even at its very early stages, as we can through irradiance forecasting determine the irradiance potential of a site (*Akarislam et al.* [1]), which will determine how much energy outcome will we get should we decide to install solar technology on the place, determining thereby if the project is profitable or not, which is clearly of the interest of the project promoters. For fully fletched projects forecasts are useful as they give an estimation of the total power output, we will have available to deploy, which allow us to foresee how much energy we can sell at stakes and giving us a first glance of the upcoming earnings of the exercise.

A special mention should be given to PV technologies, as these are instantaneous highly variable energy sources which are in the most cases connected directly to grid (*Dong et al.* [2]), they are therefore often accused of generating stress and instability in the grid. Irradiance forecasting can contribute to solve this problematic. If we can obtain detailed information on when this output ramps are going to occur, the proper grid operations could be scheduled and performed, in order to ensure grid stability. Since the topic of our thesis is short-term forecasting, some of these operations can include demand-side management, flexible scheduling of other adjustable generation resources or purchasing at the electricity sales in forehead.

But not only these big stakeholders are considered in the scope of irradiance forecasting, small final users can also make a profit of them. For instance, many of this solar generating technologies are decentralized and install at user-property, if these users could know in advantage at which precise time sections their solar technology will produce the most output, they can readjust their energy demand accordingly (e.g. by scheduling high energy-demanding domestic tasks).

We will now take a look on which features should this forecast include in order to fulfill these stakeholder expectations.

According to Schroedter [3], relevant features to be considered are both temporal resolution and forecasting horizon become, especially when there is a day market with flexible tariffs.

Plant operators may be the most uneven group of them all, since their tasks related to solar irradiance include controlling, planning and maintenance. Controlling is naturally the most short-run oriented task and it requests time resolutions no wider than 1 minute and horizons that extend to the following 15 minutes, whereas operation planning does not demand such thin resolutions, which can indeed be expanded to 10 minutes resolution on a horizon of 6 hours. In both cases satellite forecasting is the recommended source of forecasting. On the other hand, NWP methods (explained later on section 4) are suggested for maintenance scheduling, with recommended hourly resolutions with the following 10 days as horizon. In any case a refreshing with a frequency of 3 hours will be satisfactory.

Grid operators are on the other hand somehow more long-run focused as they would rather receive their forecasts on a 15-min to hourly resolution. The expected horizon here covers the remaining part of the forecasted day, and here we must make a distinction between those grid operators who operate in a day-ahead market or in an intra-day market, since the forecasted day will respectively be the coming or the current one.

The case of day-ahead market grid operators bears huge similarities with those stakeholders whom these forecasts are useful for thrusting new policies forward in the context of the market-oriented tariffs, as well as educational purposes related to viability studies of the aforementioned markets.

With all these in mind, the group of Thermodynamics and Renewable Energy Sources of the University of Sevilla develops the tool for short-time irradiance forecasting known as "HRForecast".

HRForecast is a free open tool which provides users with a high resolution, short time oriented with up to two days ahead forecasting horizon which refreshes on a daily basis, and which has the advantage of not bearing any economic cost to the final user.

This tool receives its inputs in the form of temporal and spatial information (latitude and longitude, date) of the studied site, as well as nubosity estimations from a selected array of information sources (eltiempo.es stands as the preferred one). The clear-sky irradiance is calculated through AB model adjusted to the site information and this clear sky forecasts are later pondered through the input information of nubosity to obtain predictions of forecasted direct normal irradiance and global horizontal irradiance.

The outcome of this tool are six different series of both direct and global irradiance forecasts in the form of 1-min resolution data series corresponding to the three days ranging from today to 2-days within. This means that each day, the tool will produce a forecast of both DNI and GHI for every minute included in that day, the day after and the day 2-days after and accordingly the irradiance of every minute of the year will have been forecasted three times: that day, the day before and two days ahead.

All the above plays in its advantage, however its greatest advantage could perhaps lie in its simplicity, without including any hard-to-understand algorithm which difficult the interpretation of results. It is additionally extremely simple to use, as the source information sampling and data processing is performed fully automatically and it is left to the user only the evaluation of the outputs. The light algorithmic operations involved also imply that the calculations are performed comparatively fast and without requiring additional computational resources.

The main limitations we will encounter when evaluating the performance of the tool are that we must be extremely cautious when selecting the to-be followed methodology for assessing the results. Whereas some initial appreciations may induce us to the idea that irradiance forecasting evaluation consists just in evaluating forecasted data, the real endeavor comes when comparing various predictions, for we must be wary that these are not always to be compared, and therein lies the rub. Cross-work comparison is heavily biased by a wide array of factors which range from site to temporal location, data resolution or forecasted horizon and so, we must previously ensure that the proper evaluation technique is being applied.

Irradiance forecasting does not consist of evaluating forecast and classifying them in “good” or “bad”, but in determining if they are appropriate for providing the user the desired information they demand.

3. Objective

The very purpose of the following document is naught but the assessment of the “HRForecast” tool.

So as to evaluate the product of this tool, an evaluation procedure requires to be conceived. Since there is no straightforward methodology for this kind of assessment, a literature review about different validation systems and parameters is also advisable. We seek to determine the degree to which the forecast obtained from the tool could be accepted, yet the expectations of the final user are still unclear. An irradiation forecast is always performed for a certain purpose; hence, it will be valid in how this purpose is fulfilled. Moreover, the different stakeholders (i.e., grid operator, auction purchaser, etc.) may hold dissimilar interests on it, as the final purpose of the prediction may vary significantly. Whom these predictions serve and to what extent is the question to be answered regarding this concern.

In order to cover a properly wide range of time (with a thereby given variety of conditions in term of series variability) we take the whole period of the year 2020 as sampled data; this is the time period ranging from 00:00 of the 1st January 2020 to the 23:59 of the 31th December of that year.

In this research, we focus in analyzing direct normal irradiance (DNI) series as well as global horizontal irradiance (GHI) ones. The tool is able to predict, for both DNI and GHI, 3 different forecasts each day: for that given day, for the day after and for two days after. Both forecasted and observed real data series bear 1-min resolutions, but since this is a specially high-resolution which is not frequently found in literature. Though this is certainly an advantage of the tool and of the interest of the final user, it somehow hampers the comparison to alternatives found in literature. For this reason, we integrate the data into the hour and day resolutions. The tool runs automatically every day at 00:05 hours, forecasting the GHI and the DNI at 1-min resolution for the following day (0-days), the next day (1-day) and the day after (2-days).

In summary, we will analyze forecasts of both GHI and DNI, on the same day, one day ahead, and 2 days-ahead. We evaluate the forecast by comparing them to the observed data series measured at the site the period under study (1 year). Synthetic and observed series are obtained at 1-min resolution and lately integrated into hourly and daily resolution, as well as hour and day resolution equivalents. In tables 1 and 2 we summarize the available forecasts and the nomenclature used along this thesis.

		Forecasted Horizon-DNI		
		Same day (0-days)	Day ahead (1-day)	2 days ahead (2-days)
Time Resolution	1-min	1-min DNI 0-days	1-min DNI 1-day	1-min DNI 2-days
	1-hour	1-hour DNI 0-days	1-hour DNI 1-day	1-hour DNI 2-days
	daily	daily DNI 0-days	daily DNI 1-day	daily DNI 2-days

Table 1-Summary of analyzed direct irradiance forecasts

		Forecasted Horizon-GHI		
		Same day (0-days)	Day ahead (1-day)	2 days ahead (2-days)
Time Resolution	1-min	1-min GHI 0-days	1-min GHI 1-day	1-min GHI 2-days
	1-hour	1-hour GHI 0-days	1-hour GHI 1-day	1-hour GHI 2-days
	daily	daily GHI 0-days	daily GHI 1-day	daily GHI 2-days

Table 2-Summary of analyzed global horizontal irradiance forecasts

The analysis will be performed both in terms of energy content and series distribution. These data series will be analyzed in hindsight of the review obtained from literature, thereby asserting the extent of its reliability and the overall effectiveness of the *HRForecast* tool. The key here is to observe what the behaviour of the tool is and how it performs when comparing to alternatives given the fact its working principle is rather simple and to observe the effect of its nature on its overall reliability.

3.1. Research Questions

To improve the knowledge about irradiance (both direct and global) forecasting, techniques to analyze synthetic data series will be used. With the purpose of acquiring knowledge about the different techniques available, research on those was made and the results of this research figure in section 4 of this document. It is revealed in that section that mainly the distribution and energy approaches stand as options to assess synthetic data series. Such techniques have been applied to different forecasting systems, but no research has yet been performed to the *HRForecast* Tool. This research will focus on applying those techniques to evaluate the aforementioned tool.

In addition, this thesis will also have as an objective to evaluate the following methodology and to compare it to other alternatives. This means to find potential errors during the investigation and to come up with suggestions and improvements for use of this methodology in future work.

This leads to the formulation of the following research questions: How can we assess a high-resolution forecasted irradiance data series?

The above-mentioned research question also leads us to the following secondary research questions:

Which methods are available? How do these methodologies compare to each other? Which parameters are the most suitable for the case? By which variables can we determine bias?

4. Literature Review

Before getting into deeper detail about the topic, it would be advisable to get some initial hindsight about how the tool internally works.

HRforecast is a short-term focused tool with a graphic irradiance vector as the main output. But for this output to be obtained, some inputs are required in forehead, this is exposed in greater detail in subsection 4.3.

4.1. Solar Irradiance

We have already mentioned the term “Solar Irradiance”, though we have yet to describe what we understand by it, since we will be mentioning it constantly throughout this thesis.

The vast majority of the energy that reaches the earth's surface coming directly from the sun does it in the form of solar irradiance. That said, not all the energy in the form of irradiance that reaches the atmosphere is appreciable since a significant portion of it is lost in reflection, absorption, and diffusion processes.

The unit defined in the SI for this solar power is the watt per square meter (W/m²). All the solar power measured at atmospheric heights at all wavelengths is defined as **total solar irradiance**, sometimes called extraterrestrial solar irradiance.

As stated before, around a fifth of this power input is lost in scattering and absorption as it crosses the atmosphere. As we subtract all the energy lost due to dispersion and absorption, we found the **direct normal irradiance** (DNI), measured in a direction perpendicular to the sun at ground level. The term “direct” refers to the fact that this is the irradiance coming directly from the sun and in outer space it matches the total irradiance since no fluid body is crossed through and the path is not modified by any phenomena.

This direct normal irradiance is not to be mistaken with the clear sky direct normal irradiance, which consists of an optimistic estimation of DNI assuming no dispersion occurs (and though, the clear sky term comes into play).

Though solar power not coming directly from the sun may also be measured after its direction becomes modified through the crossing of the atmosphere or reflection, this sort of irradiance is named as diffuse irradiance.

Adding to this DNI the losses due to diffusion and accounting the solar zenith angle we get the **global horizontal irradiance** (GHI), defined as the total solar power impinging on an horizontal surface.

4.2. Solar Irradiance Forecasting Techniques

With the term already clear, we will hereafter proceed to explain how it can be determined in forehead.

Though different methodologies are currently under study for this purpose, we will exclude some of them from the scope of this research.

According to NREL [3], three different methods for assessing irradiation are currently available:

1. **Statistical time-series models**, which take local irradiance measuring and provided the high correlation amongst these, predict solar irradiance for intra-hour time-periods, whose temporal resolutions may vary from 1-min values to up to 1-hour. Machine learning methodologies (such as nearest neighbor) may also be useful here.

2. **Cloud Motion Vectors (CMV) based methodologies**, which detect and then extrapolate cloud structure movements.

For predictions 2 hours ahead sky-imagers have proven to be the most suitable, according to *Aparicio* [5], as they show a faster response to variation. These are normally used for intra-hour forecasting; whose temporal resolution is in 1-min to 15-min steps.

On the other hand, satellite-based methods are used when predictions are to be obtained around 6 hours in forehead. The main issue here is the nubosity induced variability, partially due to cloud conditions, speed and spatial extension.

3. **Numerical Weather Predictions (NWP)**, which model the physical processes taking place in the atmosphere with mathematical equations, which then determined numeric values that reflect these processes, such as cloud formation, dissipation and horizontal advection. Mostly used when long-term predictions are required.

Some combinations of these methods had also been tested with encouraging results as in *Marquez* [6].

On this research, we will pull sky-imagers out of the scope of the study, in spite of their proven reliability for assessment at a short-time basis (*Chow et al.* [7]), focusing instead on satellite-based forecasts and NWP methods. According to NRL, this method proves to be suitable for short-time periods as the cloud motion is defined mainly by horizontal advection, and the cloud structures remain rather firmly shaped. This technique is able to detect cloud structures and its motion with a reasonable amount of detail, thereby providing the required irradiance forecasts in the established time resolutions. Nonetheless, local cloud formation and dissipation processes, such as strong thermal convection hinder proper application of the method when they overcome horizontal advection.

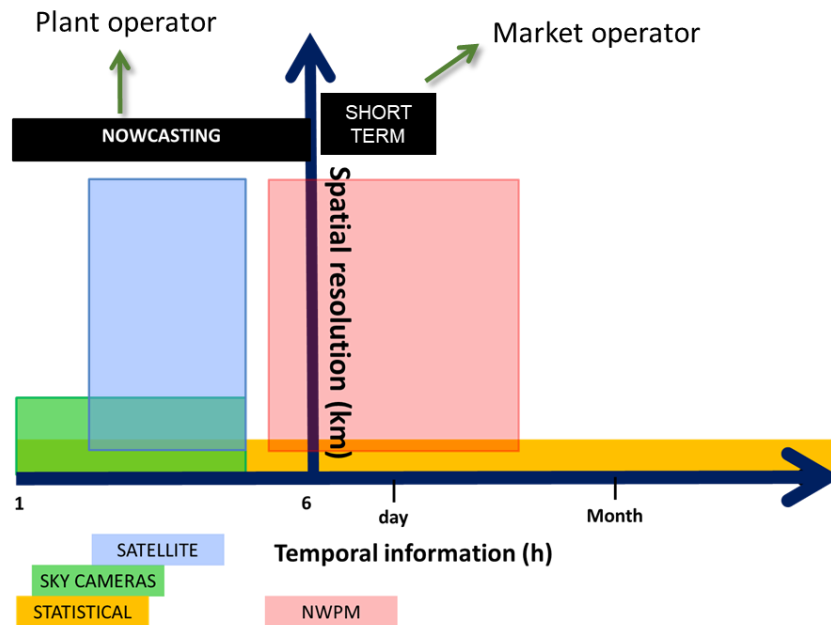


Figure 1- Map comparison of the different forecasting methodologies

A map comparison of these methodologies can be found in Figure 1, as we saw in the introduction section (section 2 of this document), plant operators demand more instantaneous information and this is mainly why they are interested in the nowcasting techniques such as sky cameras and satellite image, as they can forecast intra-hour forecast which are useful for quick on-site operations.

On the other hand, Market agents does not require so much immediate results as in energy markets the purchases are performed usually one day before or even several days ahead. For these stakeholders statistical or numerical weather predictions constitute perhaps a better option as the scope of the forecast is wither and the temporal horizon of these methodologies adjusts better to its requirements.

4.2.1. Comparison between Techniques

In this section we will make a comparison with the given advantages and disadvantages of those methodologies seen in the previous subsection.

Statistical time-series models stand as the most all-around flexible methodology of the studied since they can be used for short term and long term as well, being the methodology which covers the greater temporal information interval. The disadvantage here comes in that they require a historic database with information of the site, which demands an extensive previous assessment of the temporal information of the placement. Whereas they are appropriate for short term as well as long term forecasting, they are certainly not suitable neither for extra long-term forecasting nor for extra shor-term nowcasting, as it can be seen in figure 1, where we observe how its area of applicability begins at 5 hours ahead.

Should we want to nowcast solar irradiance, then perhaps would we take **Cloud Motion Vector (CMV)** based methodologies as our methodology of choice. Either sky-imager or satellite based, they are currently fostering a great interest among academics given the fact they are able to predict irradiance for the very short term (even intra-hour nowcasting in the case for sky-cameras) but their forecasts are restricted to the local emplacement and are not suitable for longer term forecasting.

The last reviewed methodology, **Numerical Weather Predictions** are the most complex one as modelling the physical phenomena occurring at atmospheric levels involves complex mathematical model which require superior computational assets. They provide accordingly valid weather information at all levels for a varied array of temporal horizons and valid for any assessed emplacement. That is the reason why they are the most popular around weather forecasting companies and state agencies.

The tool assessed in the hereby thesis is based on a mix model which combines an statistical model for the clear-sky irradiance and cloud attenuation with nubosity indexes that were created through NWP.

More information on the functioning principle of this tool can be found in the next subsection.

4.3. HRForecast

The tool whose name figures on the heading of the subsection is a deterministic forecasting tool which samples data from different sources, as well as an array of different inputs and gives an irradiance vector as main output.

The core process is as follows (*Aparicio [5]*):

1. **Site Location:** The information about the location, especially longitude and latitude are essential for obtaining the appropriate data.
2. **Date:** The GMT format is assumed.
3. **Additional input p ,** which will tell us on how much of the forecast for the previous day we assume. This parameter can be assigned any integer value reaching from 0 to 2, in which 0 involves that no use of the previous day’s vector is used, whereas 1 and 2 mean that it is partially or totally included.

4. **A file.txt must be created**, the first column contains the date (GMT) the remaining ones, the different nubosity indexes of the information sources.
5. **Graphic representation**, mostly to ensure that there is correlation between sources. Should they mismatch in some sort, then el tiempo.es will stand over the rest as the most reliable source.
6. **Clear Sky Irradiance** is calculated for both GHI and DNI for every day of the year.
7. **Cloud Attenuation**, the nubosity index from step 4 is modified through second degree exponential equations that will penalize low nubosity indexes and boost the impact of the higher ones.
8. **Forecasted Irradiance** (both DNI and GHI) calculated from the previous I_{CS} and the nubosity indexes from step 4. This is done through the product of the clear-sky irradiance, which is both DNI and GHI, multiplied by an attenuation factor given by the nubosity index that was given as an input.

$$I_{Forecast} = I_{CS} \cdot (1 - 0.87(\%nubosity)^{1.9}) \quad (1)$$

9. **Downscaling** to 1-min resolution values, this is done through a ND model.
10. **Graphic representation** of the forecasted Irradiance Vectors in the HRForecast website (<http://estacionmeteo.us.gter.es/pages/forecast>).

4.4. Forecast Validation

Our tool of study does take advantage of already existing forecasts (i.e. it does not perform the aforementioned methodology itself, but sample information from a wide array of sources instead) and proceeds thereupon to assess the expected Irradiance.

The way in which a deterministic forecast could be verified still remains uncertain to researchers, and therein lies the rub. How could we properly assess Irradiance?

Yang et al. [8] propose that for answering this rather uneasy question, 3 different parameters become the most relevant; these being: Consistency, quality and value. The first, which is quite the most abstract of them, corresponds to the concept that a reliable forecast may match the researcher judgement. In summary, it provides a base guideline for selecting the most accurate measure. Quality, on the other hand, is a rather familiar concept which implies that there must exist a correlation between forecasted and observed values; accuracy then comes quickly into mind, but also bias, uncertainty and variability are to be considered. Finally, value refers to the fact that there must be profit, preferably the utmost one, or the lesser cost perceived by those who rely on our forecast for decision making. Naturally, this is dependent of the very own nature of our business.

4.5. Indexes

We now move on to the search of those metrics which will evaluate the reliability of our synthetic data series.

Classic approaches on this (*Yang et al.* [6]) revolve around statistical variables such as the root mean square error (RMSE), mean error (ME and MPE) and R^2 distributions.

Some further hindsight of the topic can be obtained through *Frimane and Bright* [9], whose proposed methods diverge from the classic statistic distributions approach and could be divided into 4 categories, these being: Long term performance, variability metrics, subset validation and spatial validation.

Long term Performance consist of the comparison to the observed series of the synthetic over a given horizon of time, whereas subset validation consists of isolating specific points inside a selected subset and observing whether they hold together or not. Since no between different site location comparison will be performed on this thesis, no more research will be performed on this specific technique.

The studied indexes relate mainly to the variability study of the obtained series, this is the extend to how the series experiences variation in a quick succession, assigning the lowest variability to a clear-sky irradiance series without steep variations or to an overcast day in which the incident radiation is in some sort constant. On the contrary, the utmost variability will be held by a clear day in which prompt wind gusts provoke sudden emerging clouds to tarnish the perceived irradiance.

The point of this sort of analysis is that, should the synthetic data series obtained by this forecasting be valid, it should bear similar variability metrics as those from the observed data series.

For the following part of this section, it is vital to remark that through the concept of high-resolution we refer to those data series whose resolution is 1-1-min or lower, in contrast to the term low resolution, which refers to those with wider than 1-min resolution such as 15-1-min, hourly or daily resolutions.

The first parameter that we find for the study of variability is the fractal dimension, which is highly related to fractal patterns, these are obtained by dividing each edge of a given geometrical figure (for instance a triangle or a square) by a scale factor K ($K \in \mathbb{N}$), obtaining N copies of the original figure.

For a triangle, using a scale factor K of 2 we obtain 3 copies (N) of the original triangle which gives us a fractal dimension of 1.585. The fractal dimension can thereby be calculated through:

$$FD = \frac{\ln(N)}{\ln(k)} \quad (2)$$

Where K stands for the scale factor and N , for the number of copies obtained for that factor.

Similar to the FD is the Standard Deviation of Increments (SDI), which is actually a rather popular metric for variability assessments. For a series of an observed variable, for the case the clear-sky index (κ_t), the absolute increment ($\delta(\kappa_t)$) reflects how much is this variable increased from the value at t to the previous value in the series $t-1$. This increment can be averaged (MI), which is indeed another metric for variability, and the standard deviation from the absolute increments to this value gives us the SDI. This is expressed by the following:

$$SDI = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (|\delta(k_t)| - MI)^2}{N - 1}} \quad (3)$$

Thought the similarities of the Fractal dimension in terms of observed events and the neatler and understandable nature of the Standard Deviations of Increments just as its simplicity, tilt the scales in its favour. For this reason, we will pull the FD out of the scope of this thesis.

Another indicator is the stability index (SI), which classifies series into whether they are stable or not in the case the summation of the increments ($\delta(k_t)$) outweighs a given threshold value, e.g. 500 W/m² for GHI as suggested by *Frimane and Bright* [9].

$$\begin{aligned}
 SI &= 1 && \text{If } \sum_{t=1}^N |\delta(k_t)| \\
 SI &= 0 && \text{otherwise}
 \end{aligned} \tag{4}$$

It must be noticed that the SI does not give a numerical parametric numerical determination of any sort but instead, it indicates us which time intervals are (or not) stable. The simplicity of computation and the interest for the conclusions that could be obtained make this, a very well-suited index for our analysis. Additionally, the authors suggest using a time interval of 10 minutes for SI calculation, no reference is done for hourly resolutions, and although we find a proportional interval of 3 hours as appropriate, more research needs to be performed on the topic. The Stability index as an estimation of how stable the series are, cannot be applied to series baring daily resolution, since it would not throw any assertive conclusion.

Moving on to the next parameter, we find the Variability Index (VI), who gives us hindsight into the variability of the series when compared to the clear sky curve, can be defined as:

$$VI = \frac{\sum_{t=2}^N \sqrt{(GHI(t)) + \Delta t^2}}{\sum_{t=2}^N \sqrt{(GHI_{cs}(t)) + \Delta t^2}} \tag{5}$$

VI is accordingly extremely suitable for analyzing 1-min values, as hourly values could easily be obtained by comparing hours from this merge of 1-min resolution series. Though it is specially conceived for assessing GHI since it compares the distribution to the clear sky GHI curve, we can also use this parameter for assessing DNI comparing it to the IO curve, albeit this sort of application of the parameter is yet to be validated.

All the above constitutes what will now on be referred as the distribution approach; it could be observed as every of the former parameters sample data series for a given period and then estimate the parameter to be handled for that specific period (which can range from the whole series, to year or, as in our case, days) thus obtaining a value for each of the N periods that are being assessed.

A distribution of the estimated parameters is thereby created, whereby each step represents a measurement that is not be handled independently but in relationship to the whole.

Hence, a methodology of distribution comparison is to be devised, according to *Frimane and Bright* [9], although some alternatives could be found, the Kolmogorov-Smirnov Test (KSI) consists of one of the most popular choices for this task.

It consists of a test which indicates whether a given distribution follows a sample distribution or not, and in its simplicity lies its bigger strength: it estimates a parametric determination of the distance amongst distribution through the calculation of the difference in absolute terms of the CDFs related to both the synthetic and the reference series. A low KSI is a good indicator of close agreeability amongst series. The KSI is mathematically given through:

$$KSI = \int |f(x) - g(x)| dx \quad (6)$$

As explained earlier on this document, classic approaches on the field point the necessity of an indicator of error, this is a rather intuitive concept actually, insofar as we are working with forecast which are supposed to predict in some way real phenomena that can be observed and measured.

When speaking about measuring error, some indexes quickly spring to our scope, namely MSE, MAE and RMSE.

According to *Yang et al* [6], RMSE stands amongst these as the most advisable, as it is currently the most widespread indicator of error that can be found in literature and in such endeavor of forecast assessing, the need for an overall consensus for cross-work analysis is of vital relevance.

The main reason for choosing mean indicators over absolute ones is that through potential indexes large errors are heavily penalized whereas absolute indicators such MAE weight equally all range of errors independent to its deviation from real values.

Thus, mean error indicators are to be chosen since it can be stated that when it comes to irradiance forecasting, larger deviations are widely harmful. RMSE is favored over MSE in so it means smaller and more affable indexes.

The RMSE can be calculated through:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - x_i)^2} \quad (7)$$

Where f_i represents the different N values of the forecasted series and x_i the observed data.

However, parametric determinations of quality in forecasting such as MAE or RMSE may bias our conclusions on irradiance forecasting if we make the wrong assumption of cross-scenario compatibility. For instance, it may feel obvious that the RMSE resulting for forecasting irradiance on tropic areas where cloud formation occurs suddenly will be higher than those performed at different areas here the climate is more stable and thus easier to predict, and thus no comparison will hold amongst these.

Progress in the field will only occur when a generalized method for cross-work analysis is found and so we set forth in the task of finding such index.

According to *Yang et al.* [8], this compatibility issue could be solved through the skill score, which is an adimensionalized parameter which compares the accuracy of a given forecast to that of an already known reference forecast.

Many expressions for this index were found in literature, such as the one given by *Wang et al.* [6]:

$$S = 1 - \frac{RMSE_f}{RMSE_r} \quad (8)$$

Where $RMSE_f$ stands for the RMSE of the forecast to be evaluated and $RMSE_r$ the one belonging to a forecast assigned as reference.

The same authors also quote *Marquez and Coimbra [10]* for an alternative which is given by the following expression:

$$S = 1 - \frac{U}{V} \quad (9)$$

Where U and V represent both the uncertainty and variability of the series, which refer to the difference to observed data and the difference amongst successive steps in the synthetic series; both are denoted by the expressions:

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{f_i - x_i}{c_i} \right)^2} \quad (10)$$

$$V = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i}{c_i} - \frac{x_{i+1}}{c_{i+1}} \right)^2} \quad (11)$$

It should be noted that, despite both parameters being called Skill score, they denote very different concepts; while the former is the skill score associated to irradiance forecast, the later does the proper with clear-sky index forecast, which is the main reason why a comparison amongst these is not expected to hold and as observed in the results section, any similarity is merely due to chance.

As this chapter included numerous new parameters and concepts. For a better understanding from the reader of all these new variables and to which approach they belong, a summary of this section could be found on the table below.

Distribution Approach Indexes				Energy Approach Indexes	
SDI (W/m ²)	SI (binary)	SDI (W/m ²)	KSI (W/m ²)	RMSE (W/m ²)	Skill Score (non-dimensional)

Table 3- Summary of the used Indexes for the two Study Approaches

5. Method

5.1. Meteorological Database

The first step of our assessment will consist of loading our forecasted data series into the software that will be used for our analysis, MatLab in the thesis hereby. HRForecast manages its resulting predictions as .csv files stored in a cloud folder.

The data that will be used for this analysis, those corresponding to the 366 days of the year 2020, will be manually downloaded and stored locally in the same folder containing the Matlab file.

We must consider that the tool performs three daily forecasts: for the current day, for the day after and for two days after. The possibility of missing data, mainly due to issues in the forecasting equipment (see section 5.2 below), must also be considered. All the missing days detected by software are registered in failure log files. Additionally, we will load the actual observed data series, as well as the clear sky direct normal irradiance and the extraterrestrial irradiance (IO).

Once this data is loaded, ten single arrays are created, containing the 1-min loop concatenation of the values for DNI 0, 1 and 2 days ahead, GHI for 0, 1 and 2 days ahead, observed DNI and GHI and clear-sky DNI and extraterrestrial irradiance (IO).

5.2. Data Processing

Analysis of rough data series may be worthless, for we can end up shuttling hither and thither getting nowhere. Therefore, the sampled data must undergo a data filtering process whereby misleading data is removed and appropriate data series are treated, thereby making decisive conclusions reachable.

The following incidences were registered and thus they were filtered by cubic interpolation amongst those that lasted for least than an hour and value voiding for those whose duration implied a greater fraction of the corresponding day.

These were, for the observed direct normal irradiance:

- Day 56 and 57 (25/02/20-26/02/20): Direct irradiation over pyranometer induces heavy variability. Corrected by spline filtering
 - Day 70 (10/03/20): No data sampling from 12:00 to 00:00: whole time skip values emptied and assigned as NaN.
 - Day 194 (12/07/20): Some unusually large values that day before noon, corrected by cubic interpolation.
 - Day 212 (30/07/20): Peak values reach abnormally gaping values, whole day's data set to NaN.
 - Day 235 (22/08/20): Sun tracker failed. Whole day's data set to NaN.
 - Day 238 (25/08/20): Less than hour discrepancies, solved by spline interpolation at steep ramps.
 - Day 287 (13/10/20): Peak values reach abnormally gaping values, whole day's data set to NaN.
 - Day 337 (02/12/20): Less than hour discrepancies due to condensation on devices, similar proceeding as Day 238.
-
- While for the observed global horizontal series:
 - Day 70 (10/03/20): No data sampling from 12:00 to 00:00: whole time skip values emptied and assigned as NaN.
 - Day 337 (02/12/20): Less than hour discrepancies due to condensation on devices, solved by spline interpolation at steep ramps.

- Day 356 (21/12/20): Less than hour discrepancies due to condensation on devices, similar proceeding as Day 337.

The total number of filtered days according to the previous information is collected in the following table:

	DNI observed	GHI observed
Number of corrected days	5	2
Number of erased days	4	1

Table 4 - Total number of modified days

After all this processing, we will obtain the 1-min series in six different arrays that are already available to be analyzed. We move now on how we will turn this 1-min data into hourly and daily resolution series.

As commented in previous sections of this document, both the observed and synthetic data series for this assessment are available at 1-min resolutions, but for this thesis it may also be advisable to study hourly and daily resolution data series.

The 1-hour resolution data is obtained through averaging the ten 1-min series in hourly steps. We program a loop whereby data in each hour period is sampled, averaged to a single value and this value stored in a value corresponding to the 8784 hours of the period of study.

The daily resolution data is otherwise calculated not through average but through summation, we implement a loop which stores the data corresponding to each of the 366 days of the year 2020 into a single value.

This means that the total amount of produced series is 30, of these, the six belonging to the IO and the clear sky DNI are not to be analyzed through the distribution and energy approaches, but intermediate tools to get the desired results.

The remaining 24, belonging to the 1-min, 1-hour and daily resolution series of 0-days, 1-day, 2-days and observed DNI and GHI undergo the analyze techniques described in the index section and the results are exported to .xmls files for easier discussion.

6. Results

Synthetic series should be evaluated by comparing itself to the observed series in terms of both distribution and energy.

As stated before, the distribution approach mainly uses DNI, GHI and SDI, which are the parameters that later undergo Kolmogorov-Smirnov test, as well as the SI. Therefore, we would determine if the variability of our forecast matches the one of the real sampled data.

Accordingly, we leave RMSE and skill score for the energy approach (sometimes referred as distance approach in literature), which will evaluate how are measured value for the irradiance resembles the energetic content of the measured values, the smaller the distance between values the better our forecast according to such approach.

6.1. Distribution Approach

6.1.1. Kolmogorov-Smirnov Test results for 1-min DNI time-series

We will start this section by evaluating the results obtained from the performance of the abovementioned test to the minute-resolution, direct normal irradiance series.

For what we observe, is that the series for the same day prove itself to be in the line, however the prediction for 2 days ahead shows surprisingly a better fit to the observed series.

	KSI (0 days) (W/m ²)	KSI (1 day) (W/m ²)	KSI (2 days) (W/m ²)
DNI _{1-min}	29,71	31,83	23,12

Table 5- KSI values for 1-min DNI annual sets.

The conclusion arising from early graph interpretations is that the tool seems to somehow overestimate irradiance distributions, which is especially notorious for greater irradiance values around 700 to 1000 W/ m². While for lower irradiance values all 4 distributions follow each of them, the forecasts series hold a greater percentage of values whose magnitude does not exceed a certain threshold. Let's take a glance at the threshold of 700 W/m², the graph reflects how for the observed series around 55% (which means that 45% are not) of the data are below this value, while for the three forecasts this is around 68%.

The reasons thereafter could vary but it seems safe to ensure with some degree of certainty that the observed series show a greater variability compared to the forecast, which we will see affects each period of the year differently, for what we will additionally include in this section an independent KSI assessment of the data of each individual month.

Figure 2 represents the CDFs of both observed and synthetic (forecasts) 1-min DNI sets for the entire available annual set. The observed data were labelled in navy blue, whereas same-day, 1-day ahead and 2-days ahead forecasts are represented in red, cyan and green respectively.

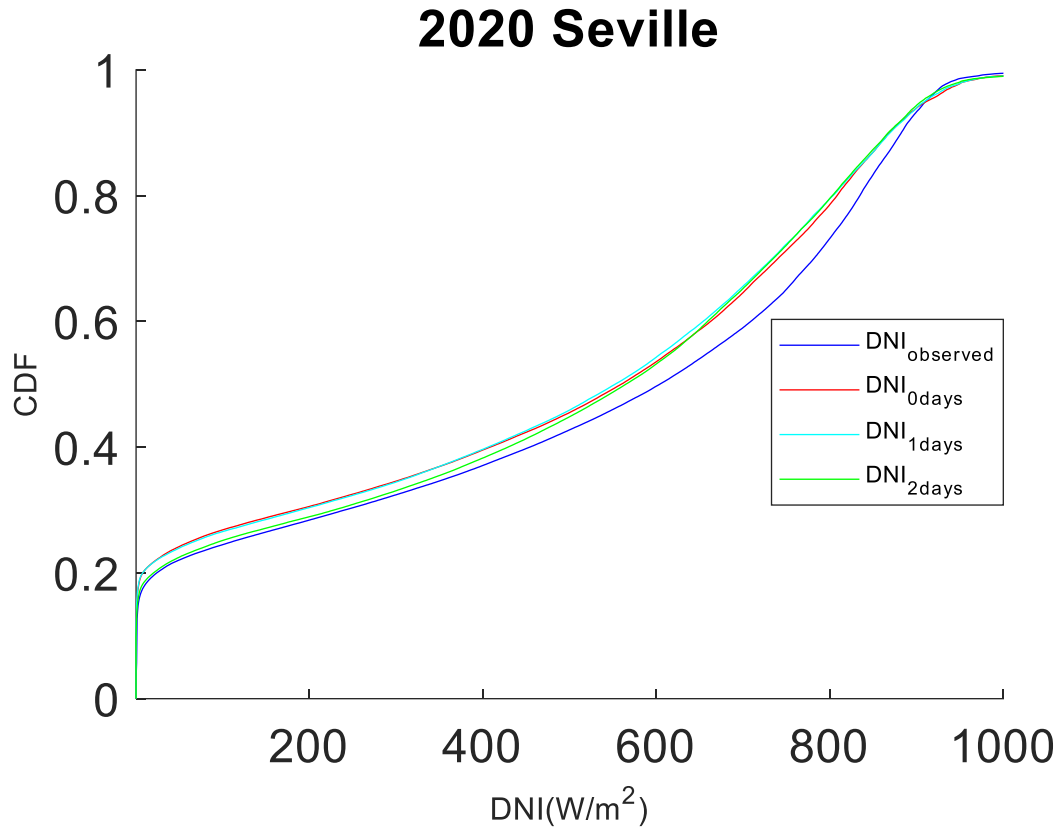


Figure 2- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min annual time series

We observe how the month of January, represented in figure 3, is overall consistent but for values over 700 W/m^2 , the performance of the 1-day prediction is particularly underwhelming, with the 0 and 2 days behaving similarly and closely following the observed curve.

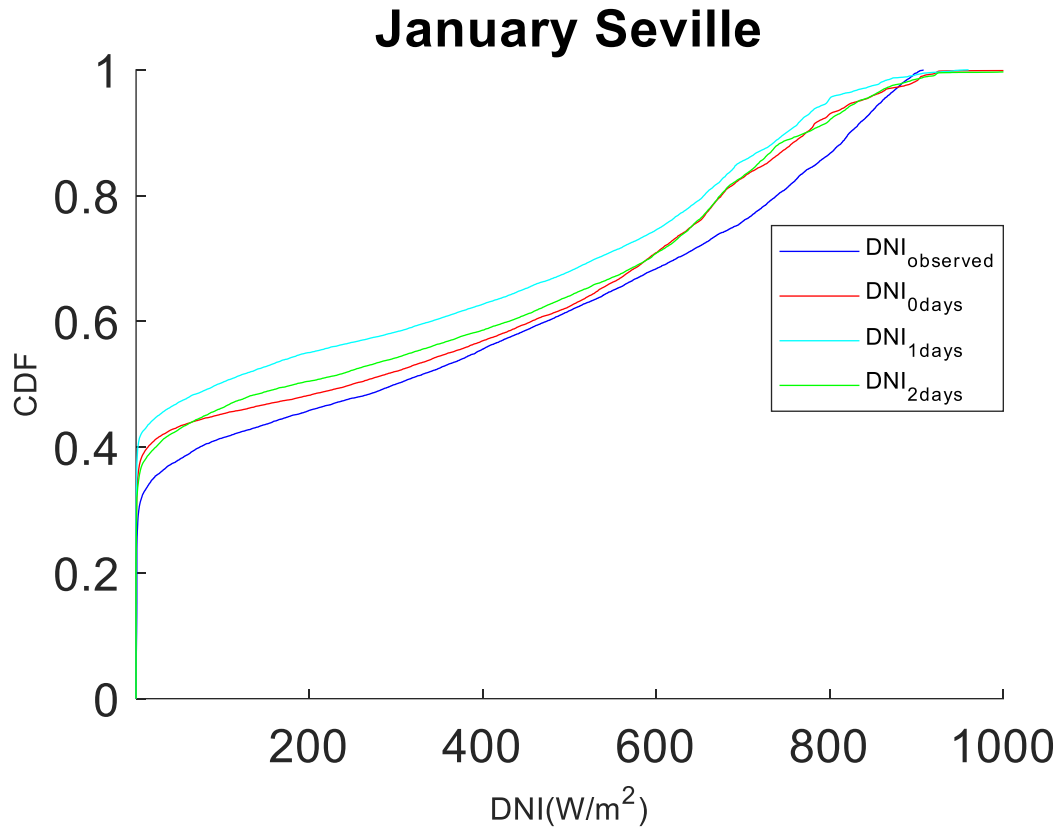


Figure 3- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min January time series

February forecasts (figure 4) are worse than the ones belonging to the previous month which is due to more unstable patterns this month.

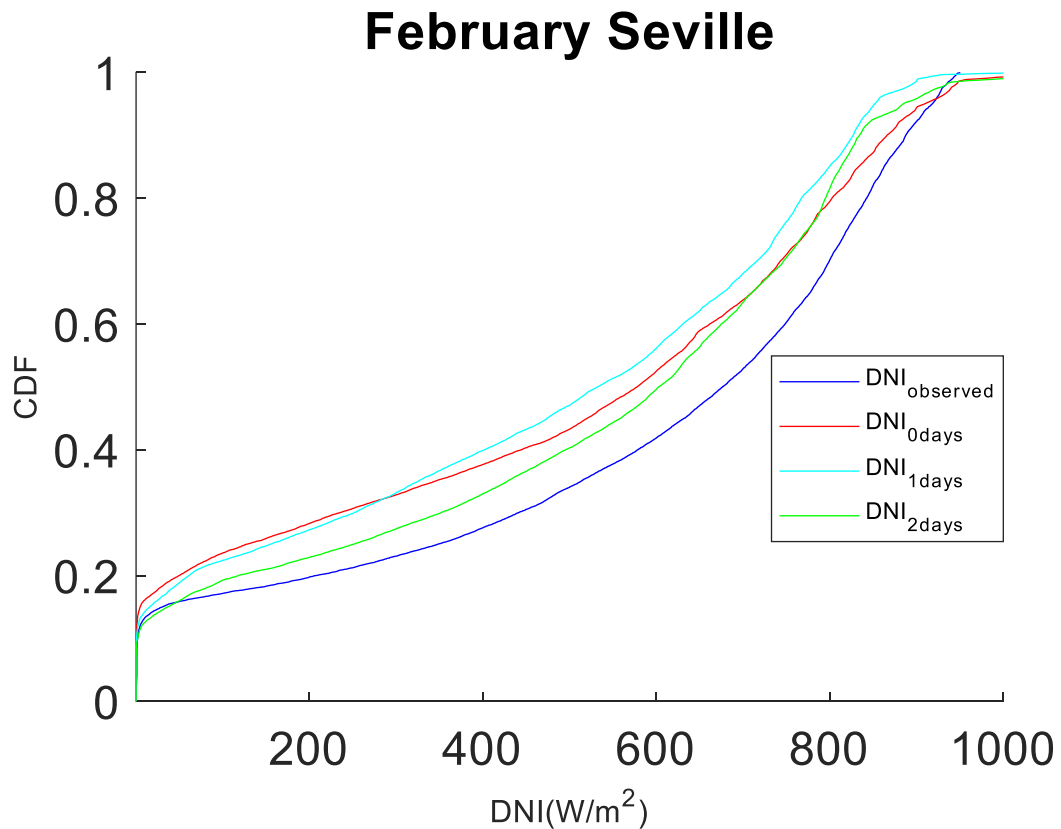


Figure 4- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min February time series

Months of April and March can be analyzed alongside since the behaviour here is clearly similar and close to the real irradiance. The 0 days prediction here shows a visibly similar characteristic to the observed.

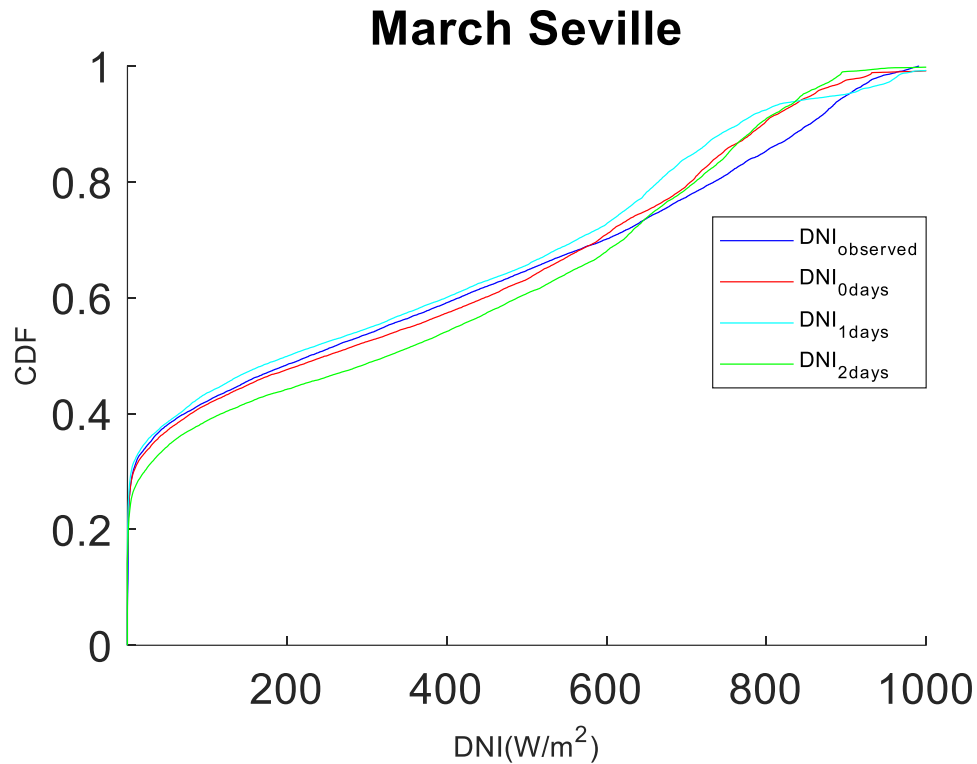


Figure 5- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min February time series

One thing to be remarked from both figures 5 and 6 is perhaps the different behaviour of the 1-day ahead forecast, which is the one which varies the most from the month transition.

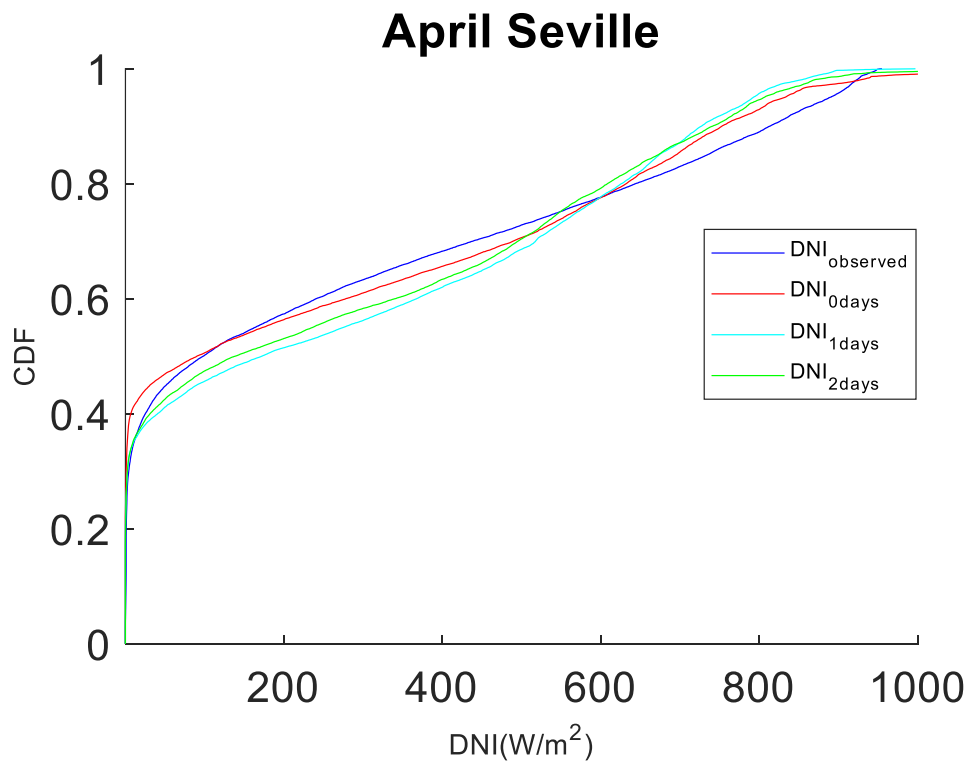


Figure 6- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min April time series

The month of May is perhaps the most interesting as well as the one who demands the further research on, as the three forecasts, which are especially similar here, differ significantly from observations. This could be explained since May is an irregular month but still the results are notoriously dissimilar which leads to the conclusion that more research on how this effect could be smoothed is needed.

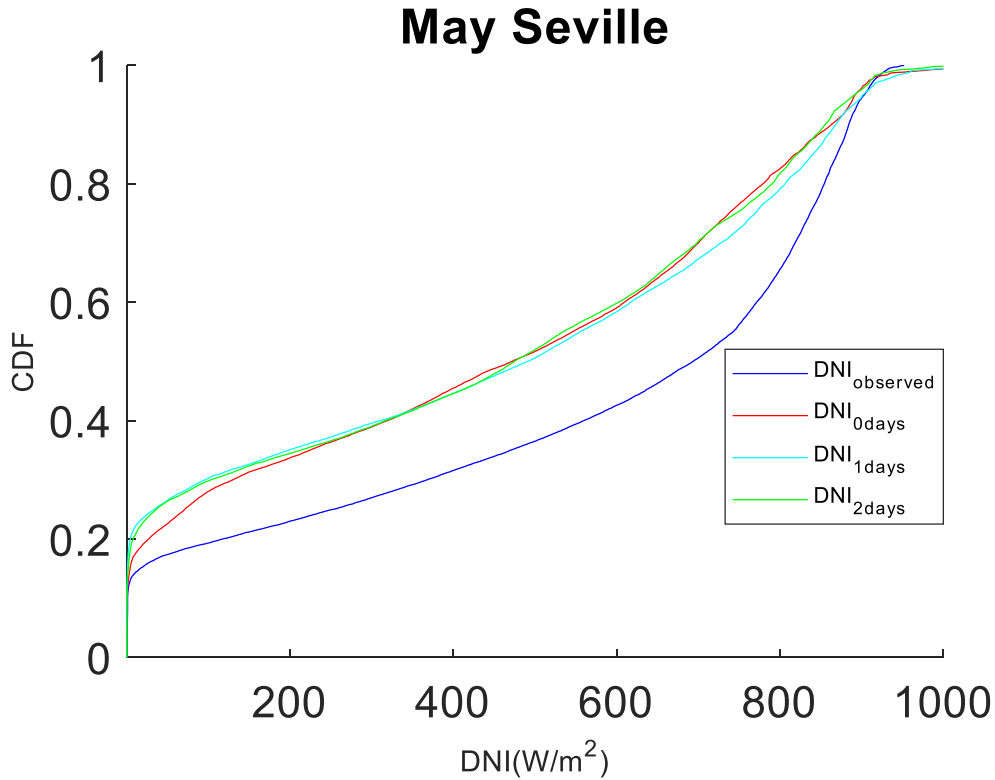


Figure 7- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min May time series

The results for all three summer months are on the other hand rather satisfactory. This is clearly due to the fact that in summer months, these are June, July and August, we are working on a low variability month, where the irradiance varies accordingly to what could be expected without frequent unexpected jumps which cause difference to the forecasted.

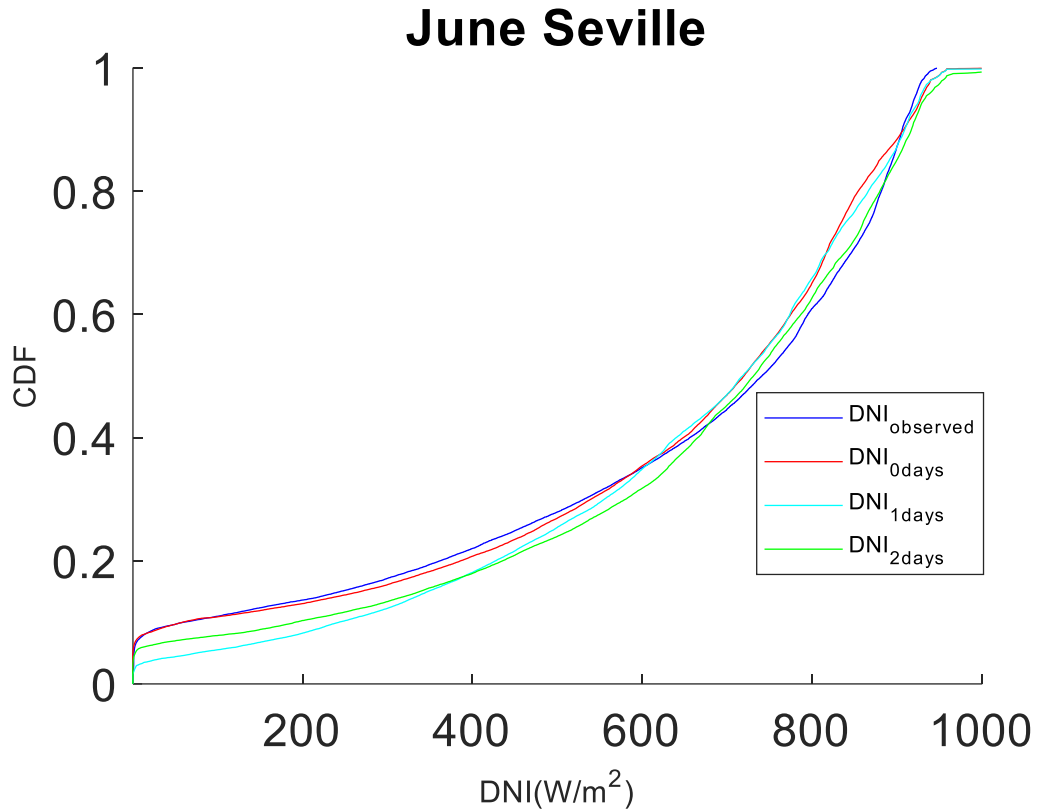


Figure 8- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min June time series

The results of June and July (Figures 8 and 9) can be considered to be quite similar with perhaps some variation in the behaviour of the 0-days forecast which moves from the being the overestimated to the slightly underestimated.

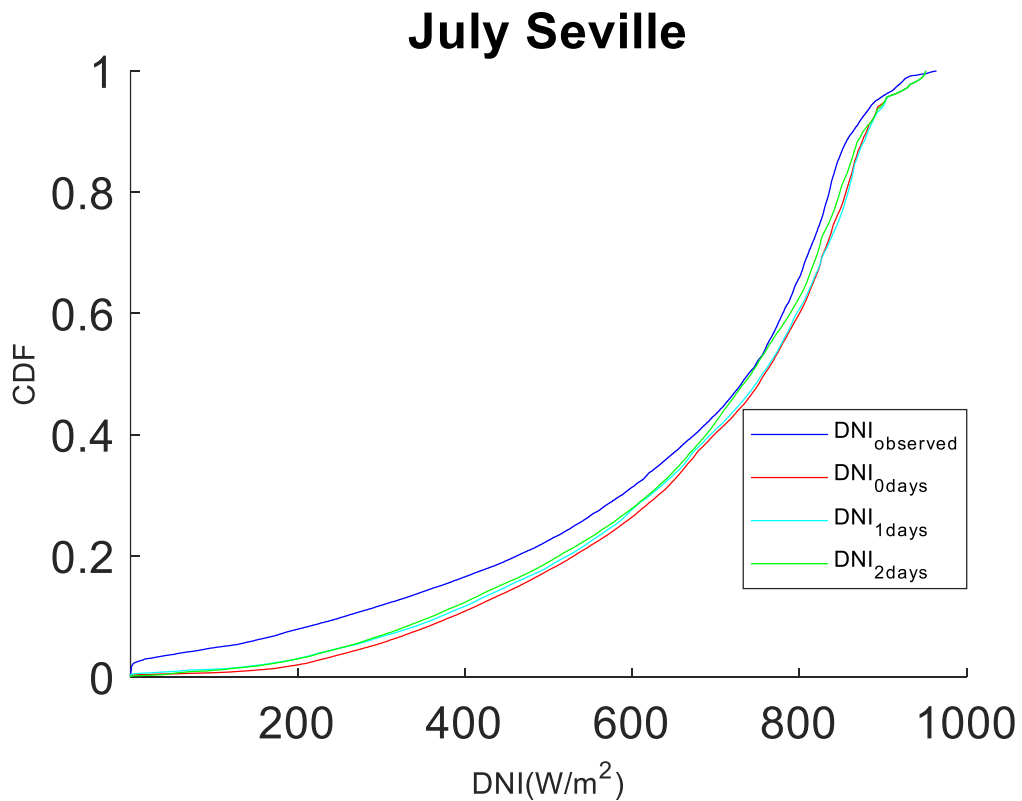


Figure 9- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min July time series

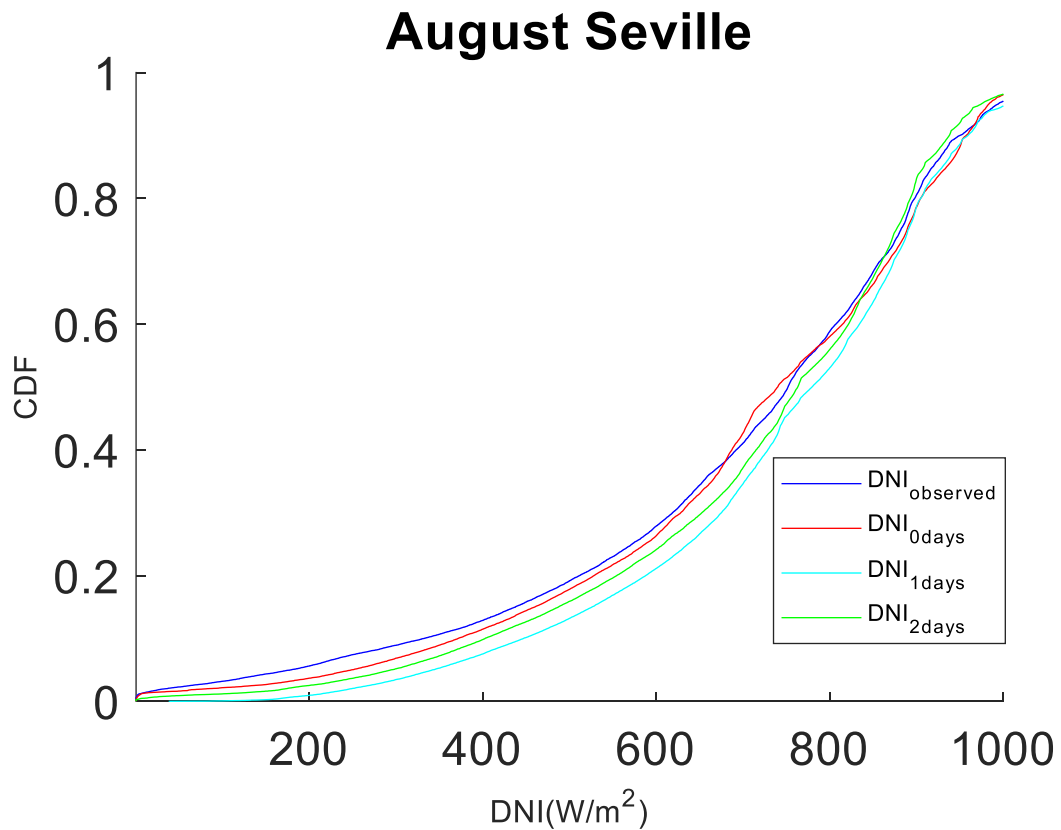


Figure 10- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min August time series

The curve for the month of August (Figure 9) has a visibly similar behaviour than what we saw in June (Figure 8).

From now on, it can be observed a variation in how the tool behaves for the remaining part of the year. The higher instability in the remaining months induce complexities in forecasting which could be observed mainly in December.

We observe how in these months the trends are inverse with all three forecasts overestimated over the observed series.

September Seville

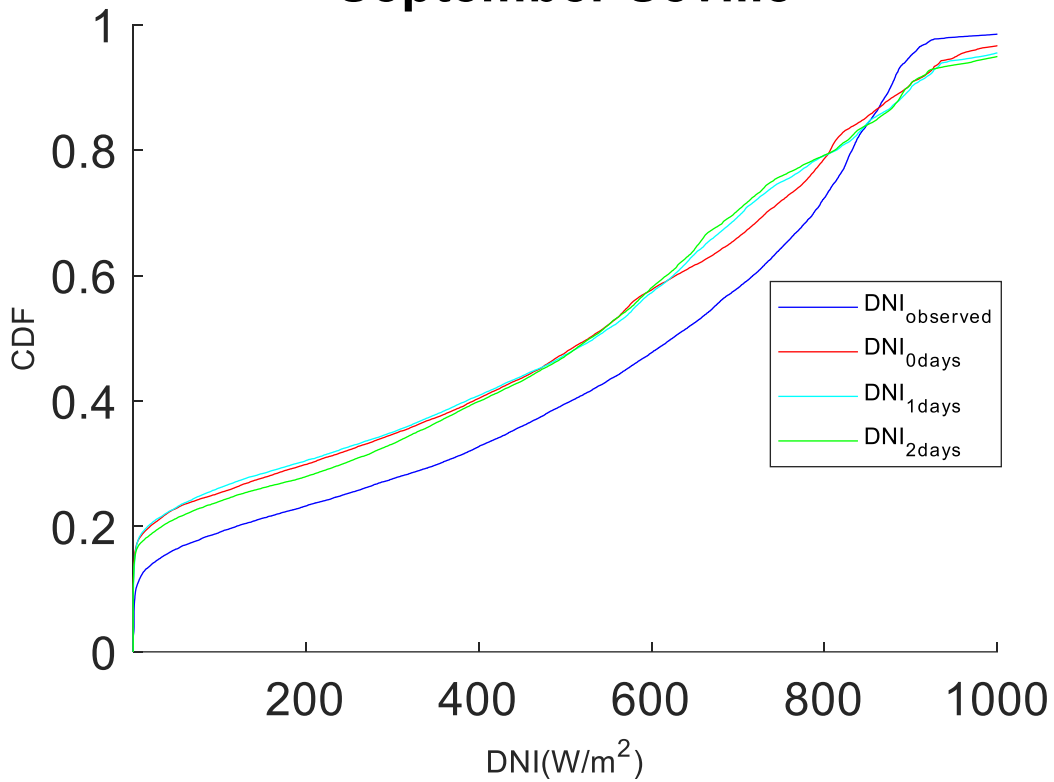


Figure 11- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min September time series

The difference between the month and the month of September portrayed in Figure 11 is notorious, especially in distance to the observed (which is represented in a higher KSI in table 6).

October Seville

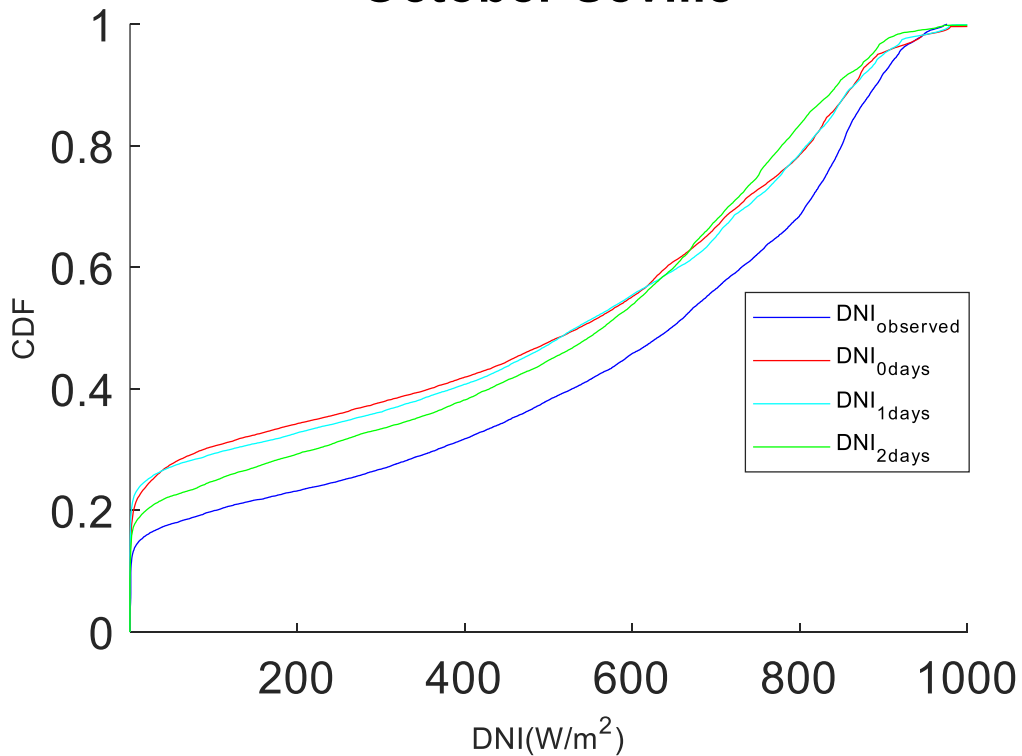


Figure 12- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min October time series

In the month of October (Figure 12), all the trends as well as the relation between plots and observe continue. This can not be said for the month of November (Figure 13), in which the KSI and thus the gap between forecasted and observed are reduced. The observed series continue anyway as the lower one,

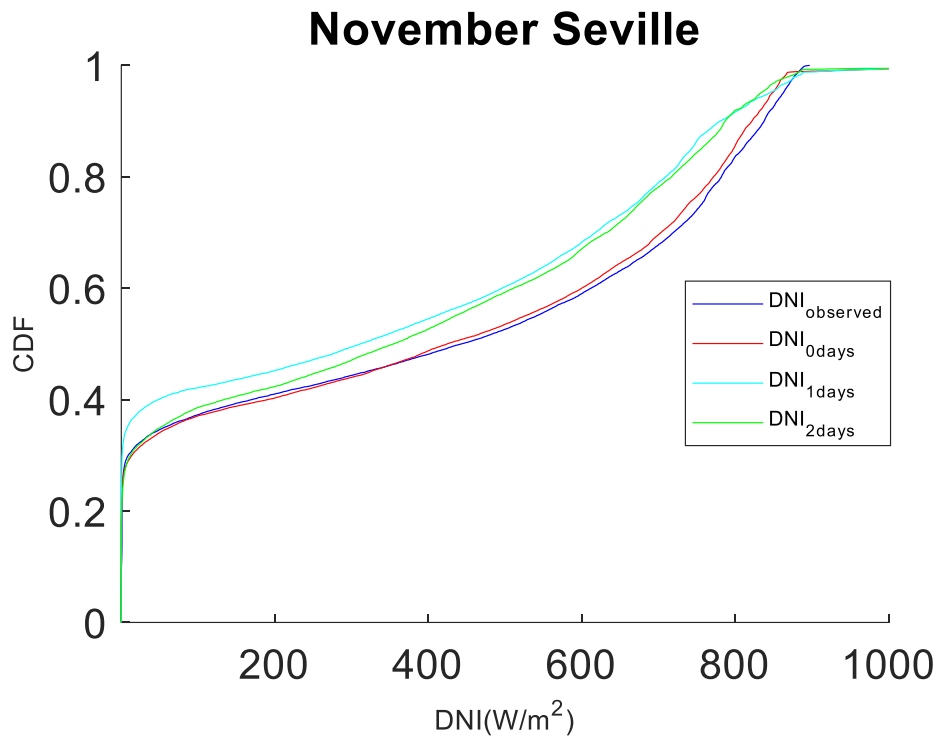


Figure 13- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min November time series

In December, contrary to what occurred at the previous month the three forecasts drop to a lower section of the graph, leaving the observed series above them, which some overestimation has occurred on this month for the three series, which are incidentally really similar between themselves.

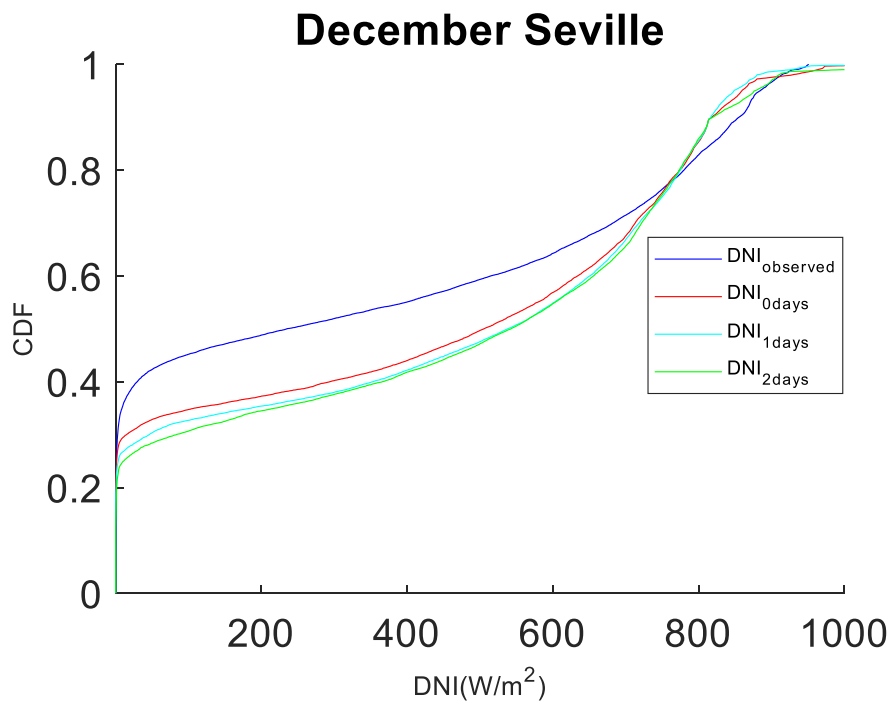


Figure 14- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min December time series

As we can observe, performing the test for each month independently throws dissimilar results. The overall trend for the entire year shows to be represented around the month of April, with some months showing unusually high values (see may) which may very well be neglected for the final conclusions.

	KSI (0 days) (W/m ²)	KSI (1 day) (W/m ²)	KSI (2 days) (W/m ²)
DNI January	28,21	68,09	36,65
DNI February	78,68	99,79	54,55
DNI March	17,20	24,11	35,96
DNI April	19,45	43,42	33,39
DNI May	117,35	114,31	121,64
DNI July	15,96	35,57	27,71
DNI July	45,07	39,32	32,40
DNI August	15,20	47,38	29,36
DNI September	67,85	74,60	69,13
DNI October	89,05	81,86	70,76
DNI November	8,90	59,57	42,82
DNI December	73,61	88,57	92,59

Table 6- KSI values for 1-min DNI monthly sets.

The best overall series is, as it may be induced from the characteristic of the tool, the shortest term one, showing the lowest areas of divergency from the observed data in 8 out 12 months (67% of the time).

The biggest revelation towards such assessment could very possibly be the fact that, totally opposite to what we could expect, the day-ahead forecast is not neatly more accurate than its 2-days homologous. Oddly enough, it only improves it in 3 months (25% of the time).

When averaging months, the values are accordingly 48.05, 64.71 and 53.92, which summarizes the overall conclusion of day-ahead being the most accurate prediction closely followed by the 2-days forecast.

All things considered, we observed how for the months with higher variability, which is the case of the months of December, October and May (which is a specially interesting case which needs more in-depth study), the tool is able to identify trends but sometimes struggles to detect sudden variations. The overall results, as it may be observed in figure 4, are consistent, and the dissimilarities are due to some specific time periods which makes us optimistic as the overall performance is proven and it could be upgraded by the case study and selective improve of forecasting for this given period.

6.1.2. Kolmogorov-Smirnov Test results for 1-hour DNI time-series

Our tool is able to provide forecasted with an extremely high resolution, however this is not always the case for all technologies, which sometimes gives us results in hourly data or even lower resolutions. At some points, we could have to compare our data to lower resolution data series and this is why we now shift to perform the test to hourly averaged data.

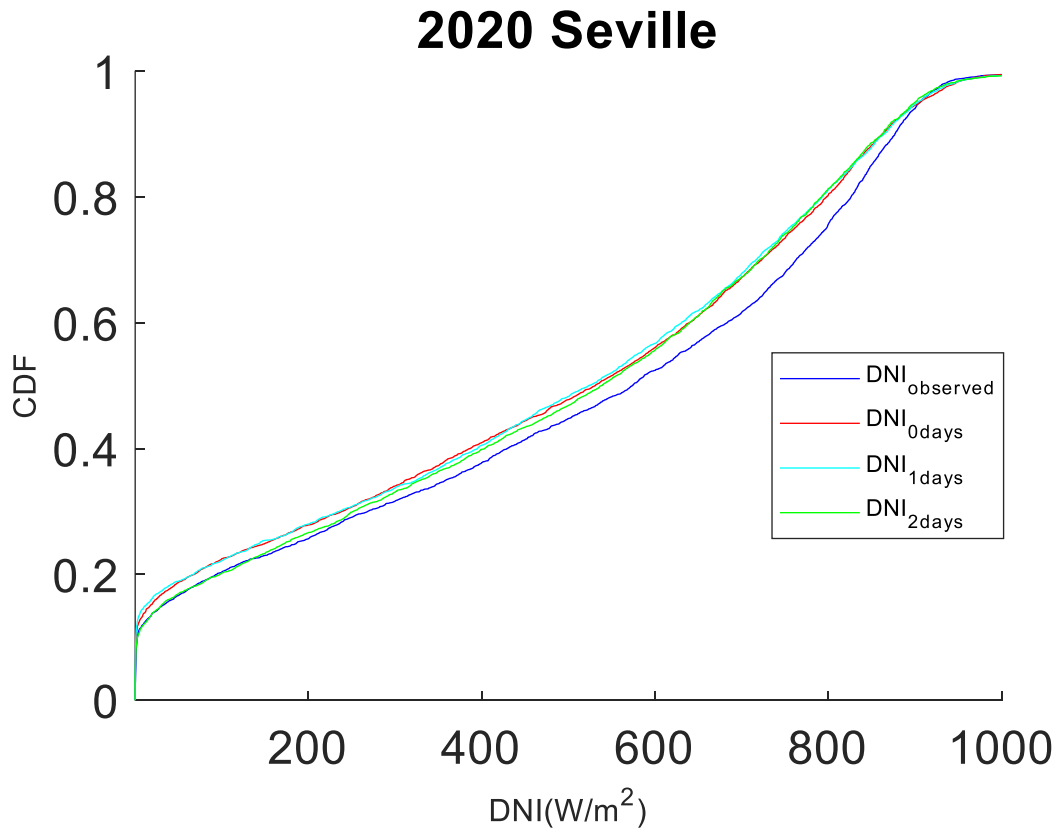


Figure 15- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-hour annual time series

As we may observe, by moving to hourly averaged values, the results are still on the line to what could be observed in the previous section with 2 days prediction closely to the real observed data series, which makes us discard the possibility of sudden short ramp intervals producing this effect since this would be ignored by the averaging method.

	KSI (0 days) (W/m ²)	KSI (1 day) (W/m ²)	KSI (2 days) (W/m ²)
DNI _{1-hour}	27,92	30,31	21,93

Table 7- KSI values for 1-hour DNI annual sets.

The numerical determination of the KSI confirms this idea, as the lowest value of the KSI belonging to 2-days ahead forecast suggest it is the one that best follows the observed series in terms of distribution variable. Which could be seen previously in Figure 15, where the 2-days series (green) closely followed the observed (dark blue) at the initial and final segments of the curve. The difference here in similarity to the observations between the same-day and day-ahead is quite low, specially when compared to the 2-days ahead.

	KSI (0 days) (W/m ²)	KSI (1 day) (W/m ²)	KSI (2 days) (W/m ²)
DNI January	27,49	66,93	36,16
DNI February	76,63	101,25	53,84
DNI March	11,97	26,82	29,77
DNI April	29,05	38,94	23,77
DNI May	117,46	113,24	121,78
DNI June	13,44	24,82	23,13
DNI July	44,02	38,21	31,89
DNI August	16,30	47,54	33,17
DNI September	68,28	70,24	68,46
DNI October	87,36	79,83	69,32
DNI November	14,55	57,73	49,03
DNI December	68,93	85,70	88,18

Table 8-KSI values for 1-hour DNI in monthly sets.

We observe how trends are reasonably similar to the ones observed in 1-min resolutions. It can also be remarked the fact that the distance to the reference series is somehow lowered though upscaling to higher resolutions.

The worst month in terms of accuracy was without any doubt May, which clearly represents a ramp in distance when compared to its neighboring months, the following month was paradoxically the best one.

Although no clear patterns seem to spring out of the comparison amongst KSI of the three series, it feels like this time the day-ahead forecast behaves the worst, while the remaining two behave similarly. The reasons why this happens are unclear, as this seems to disagree to what was observed when assessing the overall year set.

6.1.3. Kolmogorov-Smirnov Test results for daily DNI time-series

In this section, similar analysis to that the ones previously performed to 1-min, and 1-hour to the daily resolution series.

Consequently, the results for the Kolmogorov-Smirnov Integral for the daily resolution can be found on the table below. It can be noticed that this time the KSI is not given in W/m^2 but rather in kWh/m^2 . This is because here we are not working with irradiance but with cumulative irradiance values instead.

	KSI (0 days) (kWh/m^2)	KSI (1 day) (kWh/m^2)	KSI (2 days) (kWh/m^2)
DNI _{1-day}	42,28	49,95	50,02

Table 9- KSI values for daily DNI annual sets.

The results here cannot for this reason be directly compared to the previous ones, but it feels like some patterns here maintain, as seen in Figure 16.

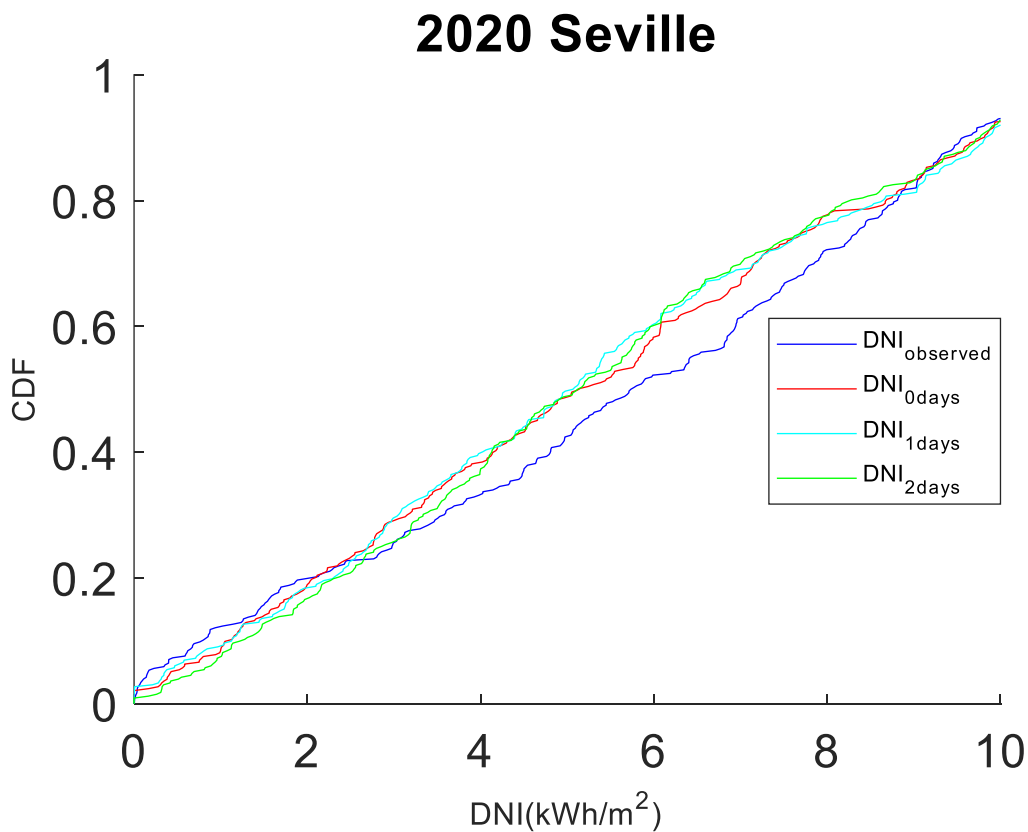


Figure 16- CDFs of the observed and synthetic DNI daily annual time series

It can be observed how the observed DNI series represented by the blue line is still the bottom one which was something seen as well in analysis for 1-min and 1-hour, meaning it's the series with the lowest number of values under some certain threshold, and thus being the forecast again underestimated.

Something that does not feel to match the observations of previous section is the fact that this time, it is the 0-day forecast the one which is reducing its distance to the observed, the 1-day and 2-days forecast behaving similarly.

The course of the forecasted plots in Figure 16 looks actually similar to the one in figures 14 and 2, so there is no clear reason why shifting to the day resolution produces this effect.

More information could be found below in table 10, where the same analysis is again performed for daily resolution but this time in monthly sets.

	KSI (0 days) (kWh/m²)	KSI (1 days) (kWh/m²)	KSI (2 days) (kWh/m²)
DNI January	16,17	35,98	28,46
DNI February	33,71	48,53	29,89
DNI March	11,50	16,07	17,63
DNI April	11,87	22,51	21,39
DNI May	59,16	50,51	59,20
DNI July	11,87	10,41	14,89
DNI July	21,46	17,63	13,56
DNI August	9,28	19,17	11,04
DNI September	21,19	26,93	28,73
DNI October	32,00	26,67	26,86
DNI November	12,25	24,56	25,96
DNI December	42,60	47,50	39,29

Table 10- KSI values for daily DNI in monthly sets.

Judging by the information at the previous table we check how the assessment for individual monthly sets seems to somehow lead to lower values as the majority of the values here are lower to those present in table 9.

All the seasonal trends present at the monthly set analysis for 1-hour values are present here as well, yet the trends are less remarkable. We observe how there is again a decrease in KSI for the summer season and the month of May is here again represent as the worst in terms of variability distribution, yet the spikes here are less prominent.

6.1.4. Kolmogorov-Smirnov Test results for 1-min GHI time-series

Accordingly, we proceed to perform analogous test but for the global horizontal irradiance distributions.

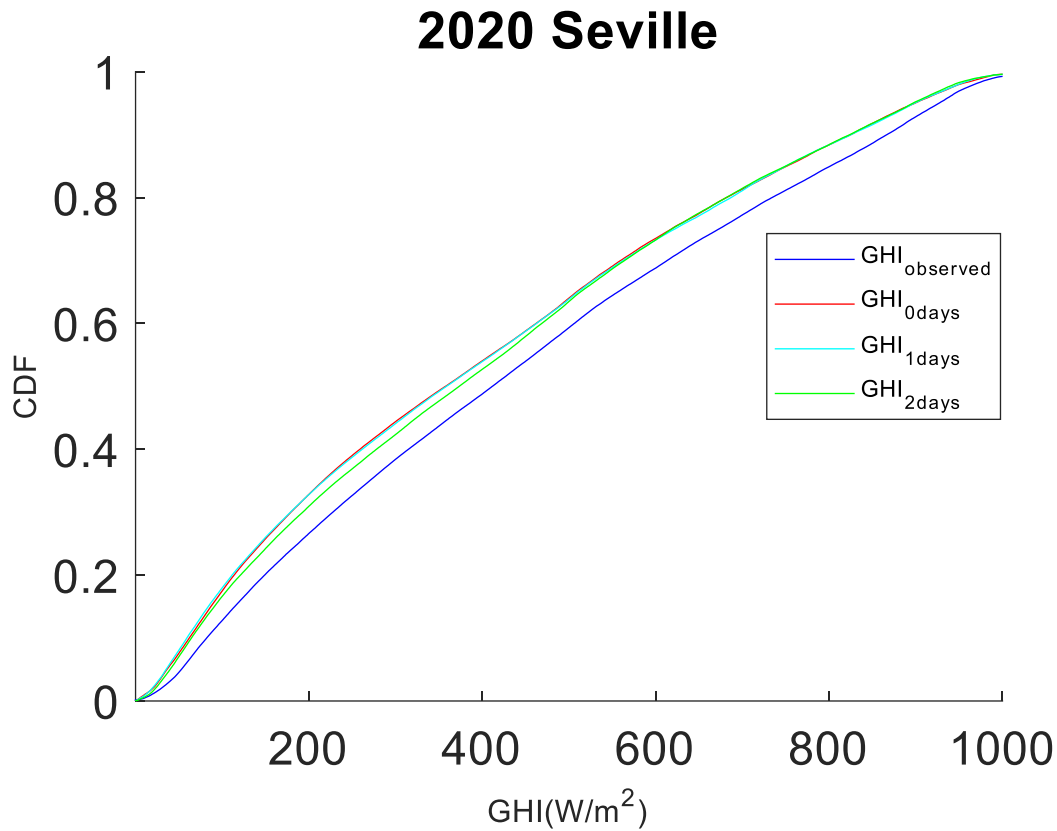


Figure 17 - CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min annual time series

The results here prove that, surprisingly and albeit the results are similar in magnitude to those shown in the homologous section for DNI distributions, the best prediction for the case of GHI is the one performed 2 days in forehead.

Global Horizontal	KSI 0 days (W/m ²)	KSI 1 days (W/m ²)	KSI 2 days (W/m ²)
GHI _{1-min}	42,11	41,69	35,46

Table 11- KSI values for 1-min GHI annual sets.

For obtaining better hindsight before taking decisive conclusions, we again proceed to analyze each month separately.

The month of January (figure 18) seems to show the opposite behaviour to the DNI, with worse results for lower thresholds for irradiance. Which indicates the fact there is a great number of lower values (lower than 200 for instance) which somehow indicates underestimation of forecasts.

On the other hand, the results for February (figure 19) prove to behave similarly to what was detected by the weather station. Here it can also be observed an overall trend of the two-days ahead forecast being the one who clearly resembles better what could finally be observed, which is a fact that can also be observed previously in the complete series analysis.

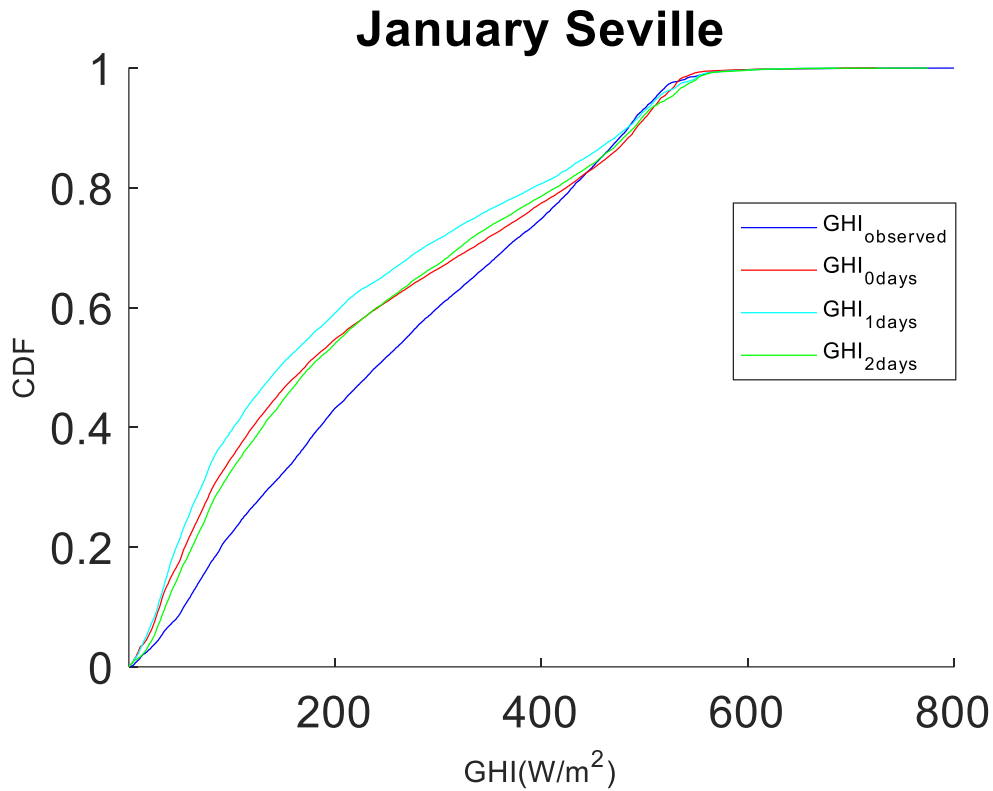


Figure 18- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min January time series

It can be observed that although the difference from forecast to observed is reduced in February and there are some differences in the behaviour of the 0-days curve, the 1-days and 2-days curves behave very similarly between months, being respectively the farthest and nearest to the observations.

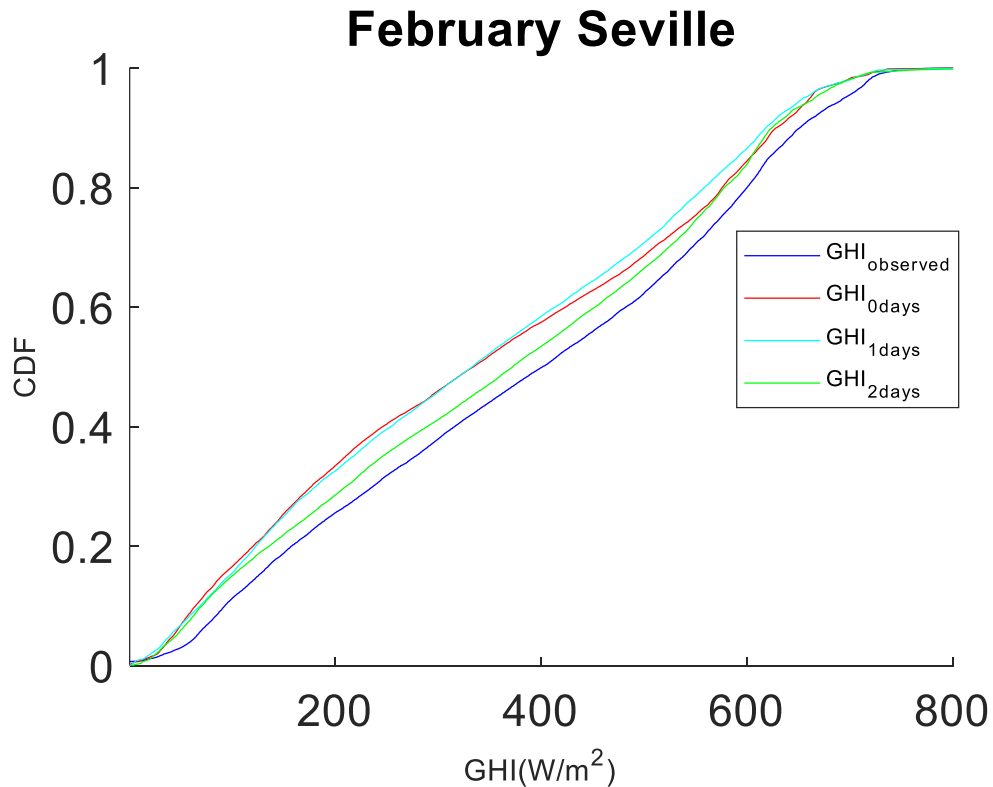


Figure 19- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min February time series

In this case months of April and March can also be analyzed together and behave similarly to the observed series. In contrast to the case study of the months in DNI, here the 0-days forecast differs the most of the three and the two-days forecast seems again to show the nearest activity.

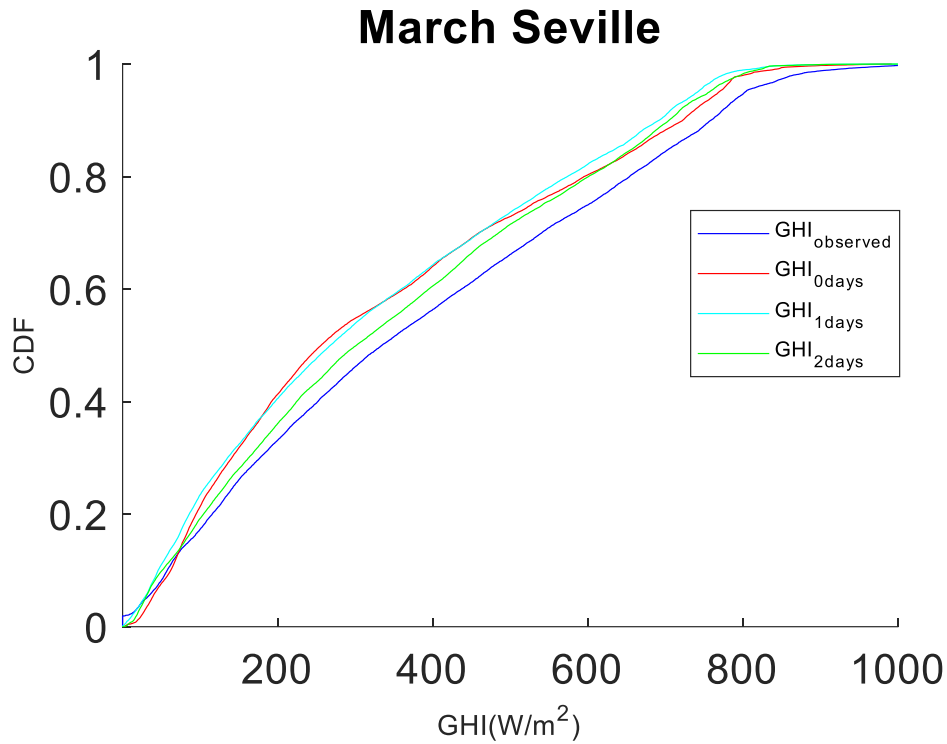


Figure 20- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min March time series

The 0-days curve is again the one which varies the most from March to April, while the other two forecast curves remain rather stable. This was also appreciated when comparing months of January and February.

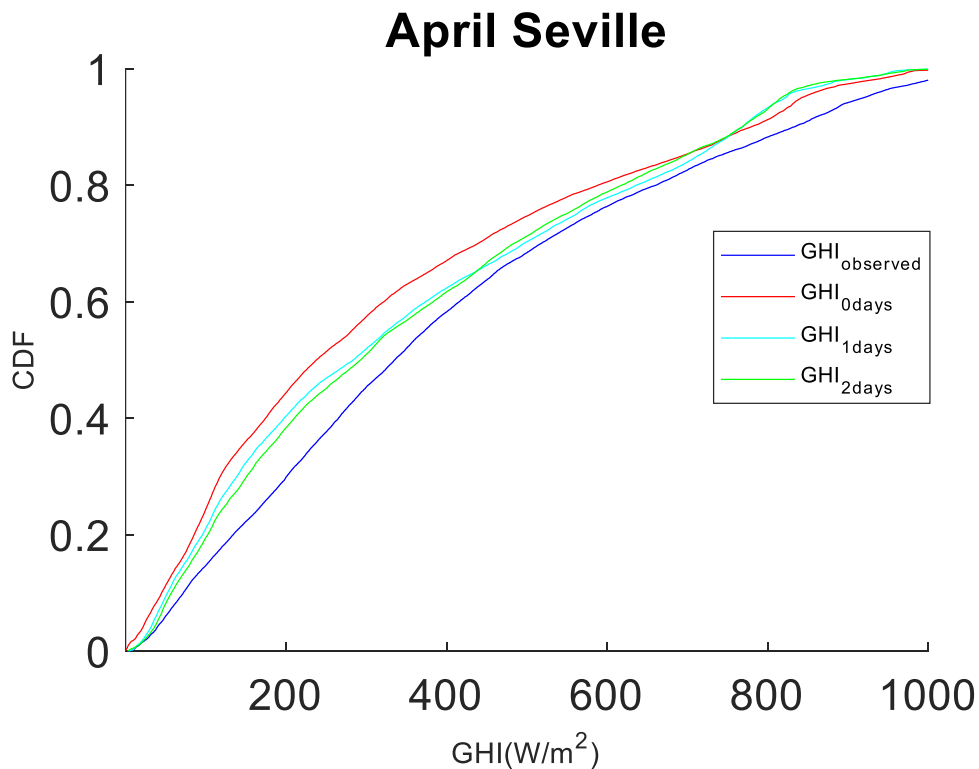


Figure 21- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min April time series

We observe how May (figure 22) is again a tough month for the tool and the conclusions taken on the previous subsections apply here as well.

This month also did score the highest KSI for all the analysis on DNI and this is something that is also present on GHI. We associate this underperforming of the tool to the instability in the month May.

When looking at the numerical result of the Kolmogorov-Smirnov integral a great maximum can be found for KSI in this month.

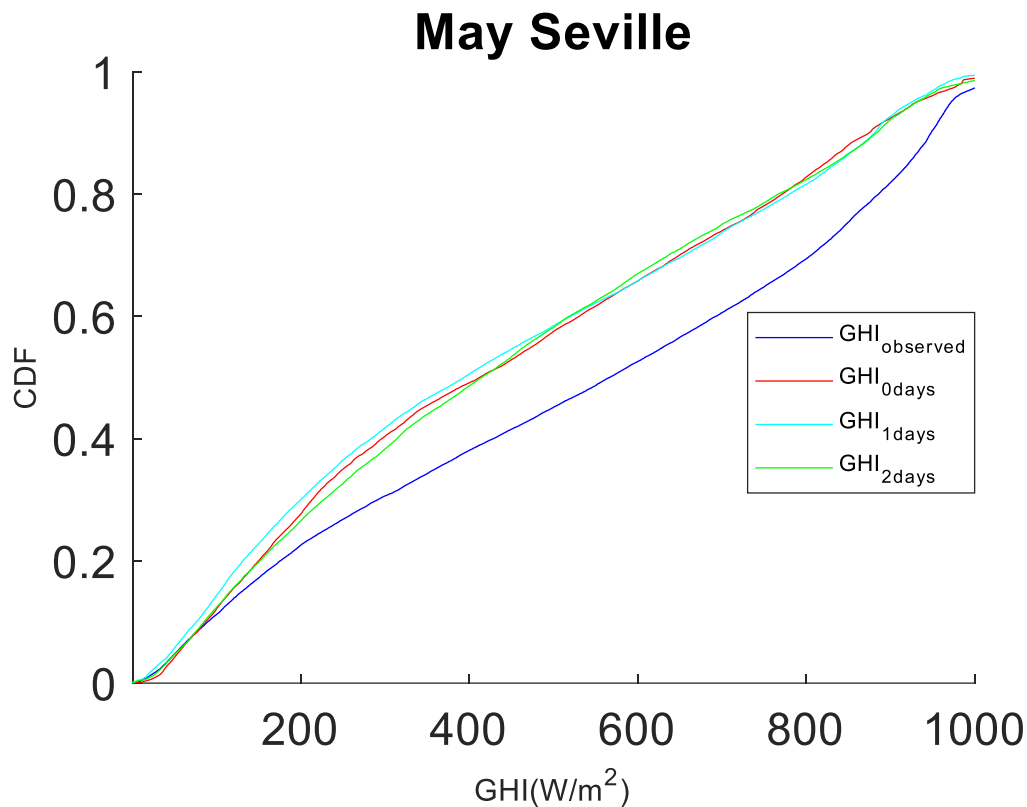


Figure 22-- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min May time series

As we could expect, the three summer months are quite stable overall, which quickly is transduced in all 4 data series closely following the rest.

More heavily affected by high variability are the forecasts for the rest of the year, though it feels like it may be here less noticeable than in the case of direct irradiance.

We may observe again how the 2 days ahead forecast is the one who is unexpectedly responding the better to the quick variations, this is even so for both months with low variability profile such as June and for unstable ones like November.

In any case all three forecast behave comparatively similar to the remaining two and the difference between forecasted measures is not as significant in percentage to the difference to the observed series.

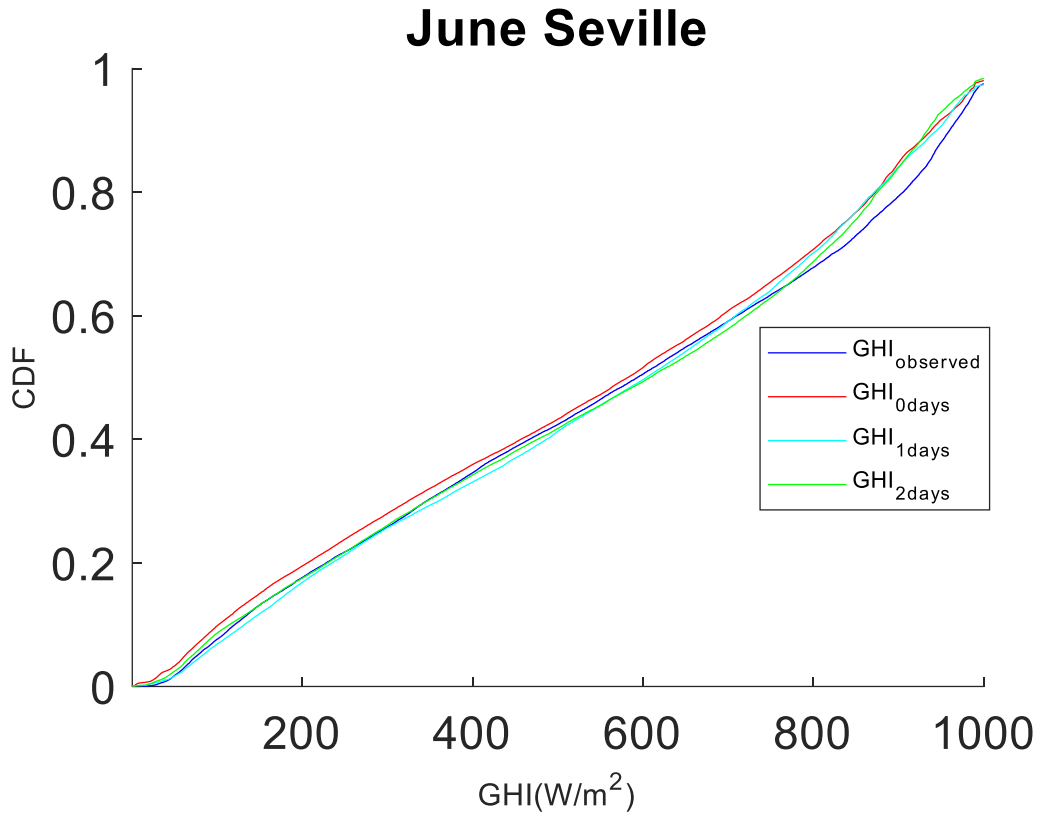


Figure 23- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min June time series

The transition from May to June (figure 23) is quite notorious and so is the reduction in KSI judging by table 12.

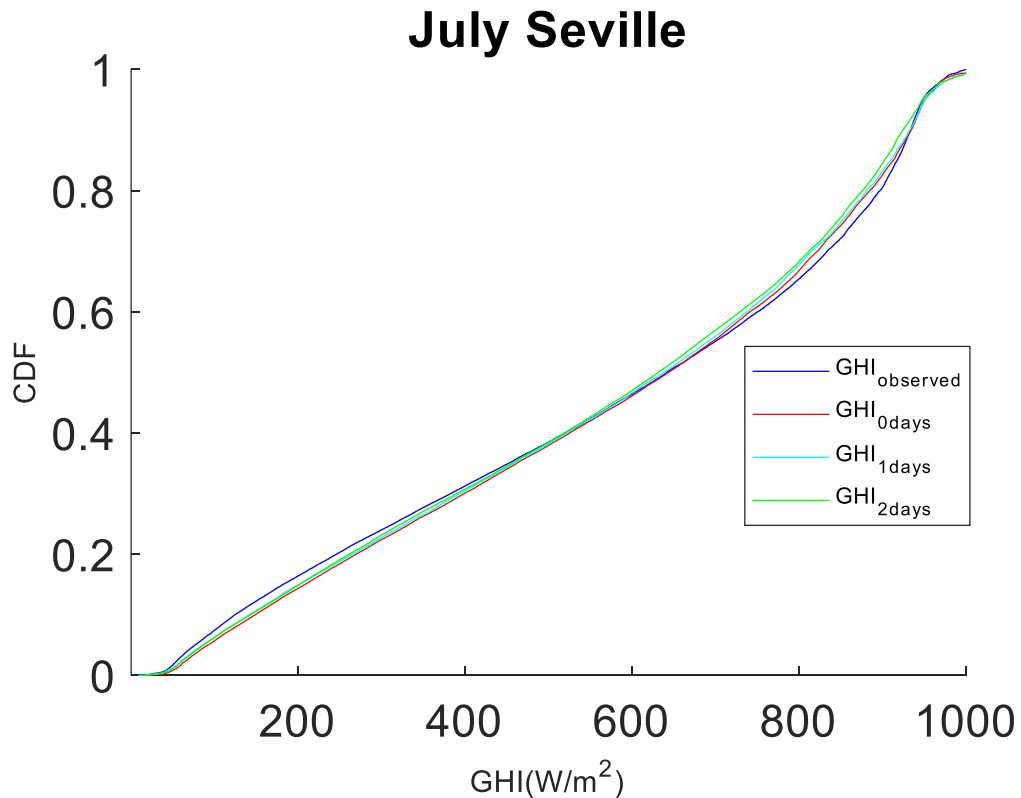


Figure 24- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min July time series

We see how the stability present in the month of June continues in July (figure 24). This is actually the month with the lowest KSI of the year, meaning the forecast are more accurate than never. The difference between the three forecast is also extremely reduced and this is constated numerically in the values for this month on Table 12.

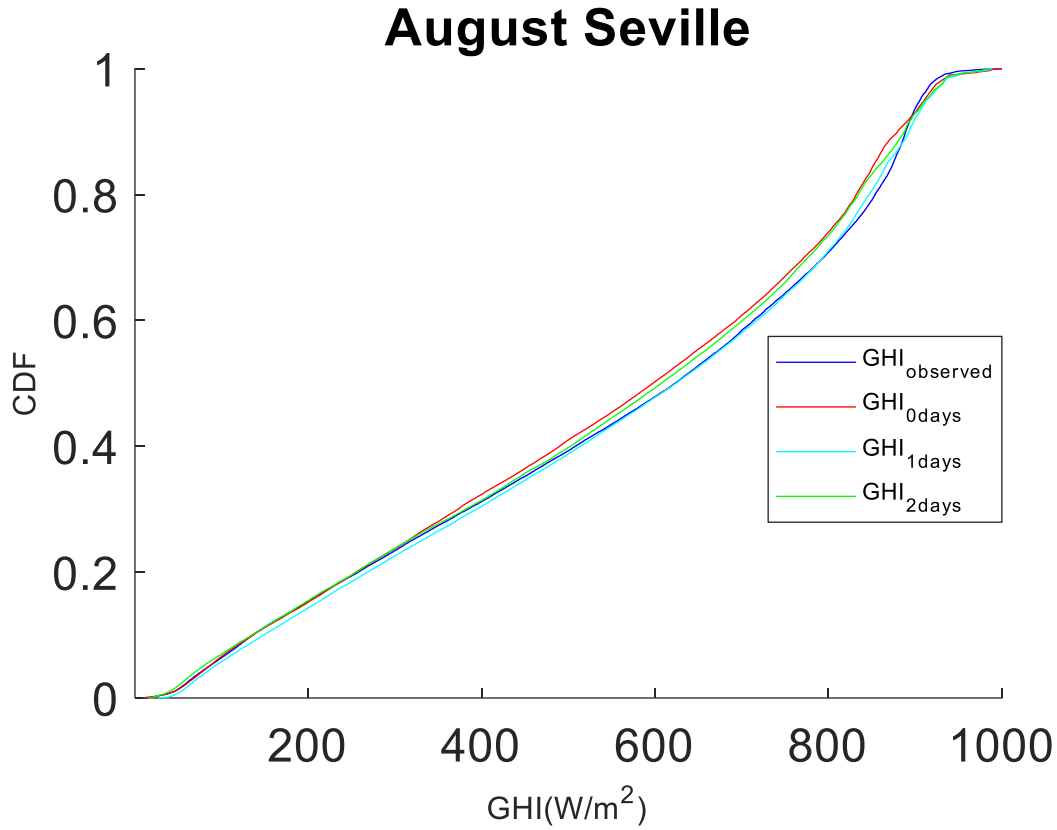


Figure 25- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min August time series

We see how the month of August (Figure 25) continues the trend of summer season of low KSI indexes, near to unappreciable differences between forecast curves and an overall feeling of good performance of the curve as a result of the constant variation in global irradiance for the month.

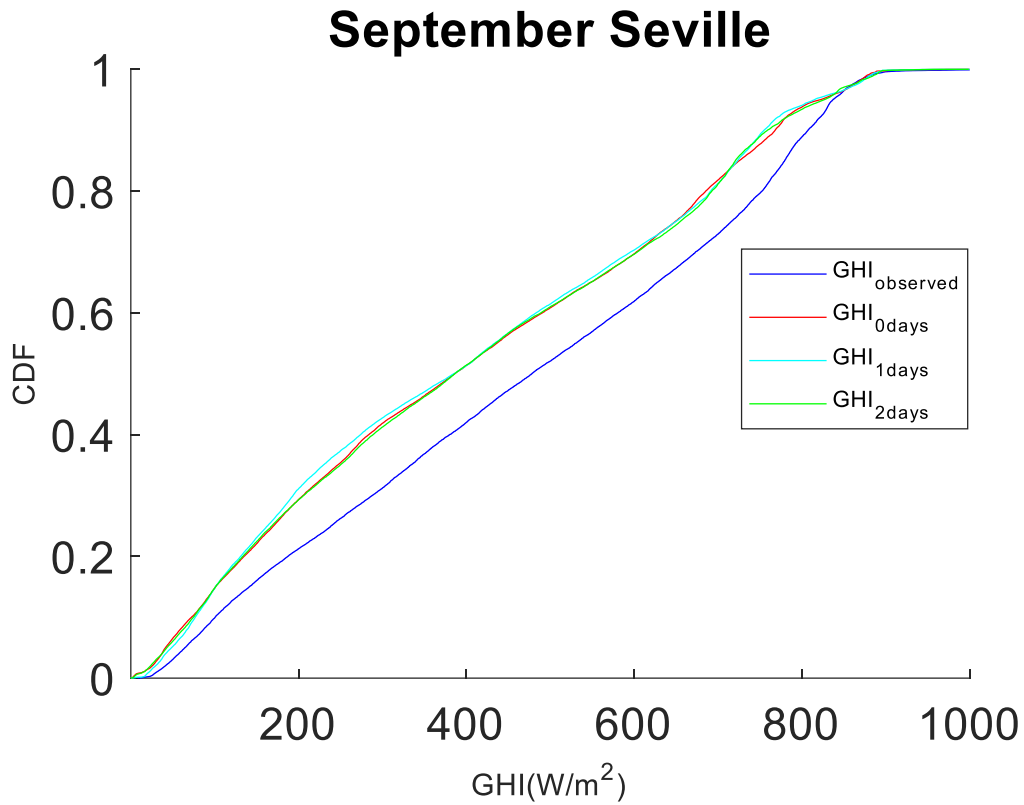


Figure 26- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min September time series

The optimism gained the three previous months is lost here in the month of September, where the curves diverge from the observed and return to KSI indicators of April levels. The three forecast curves here look very similar and we have to check the values in table 12 to determine a difference between them. The 0-day and 2-days curve behave almost exactly.

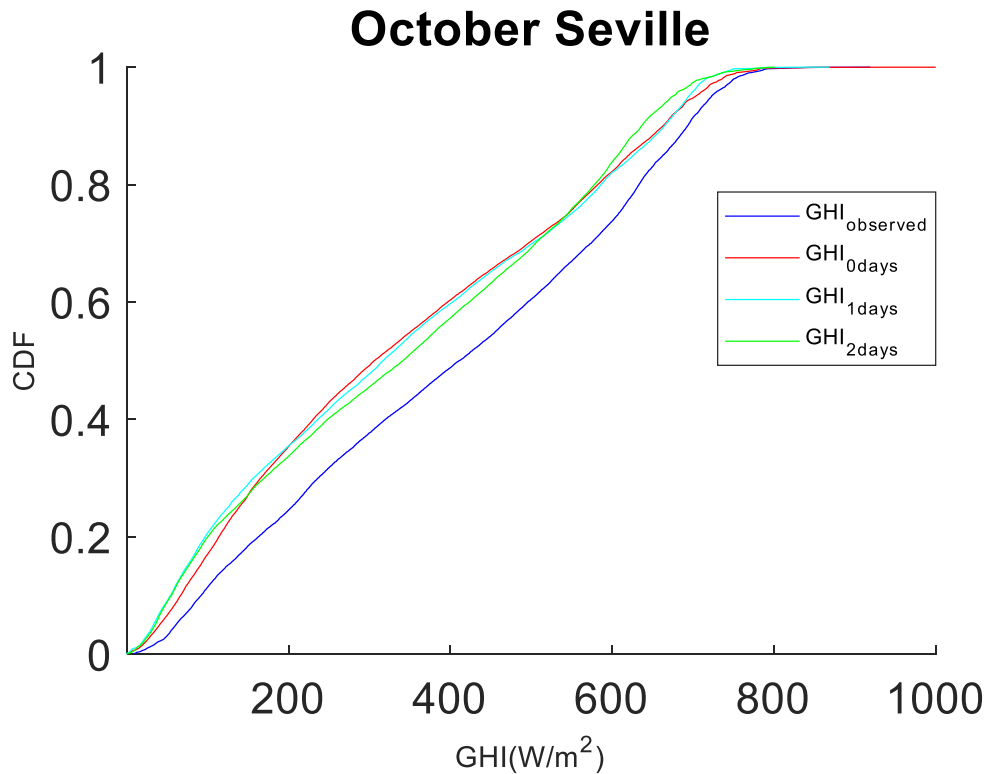


Figure 27- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min October time series

The pattern of diverging from the observed curve that begun in September does not feel to get better in the month of October. Actually, when looking at Figure 27 the results look familiar. It is the same-day curve the one which seems to vary each month.

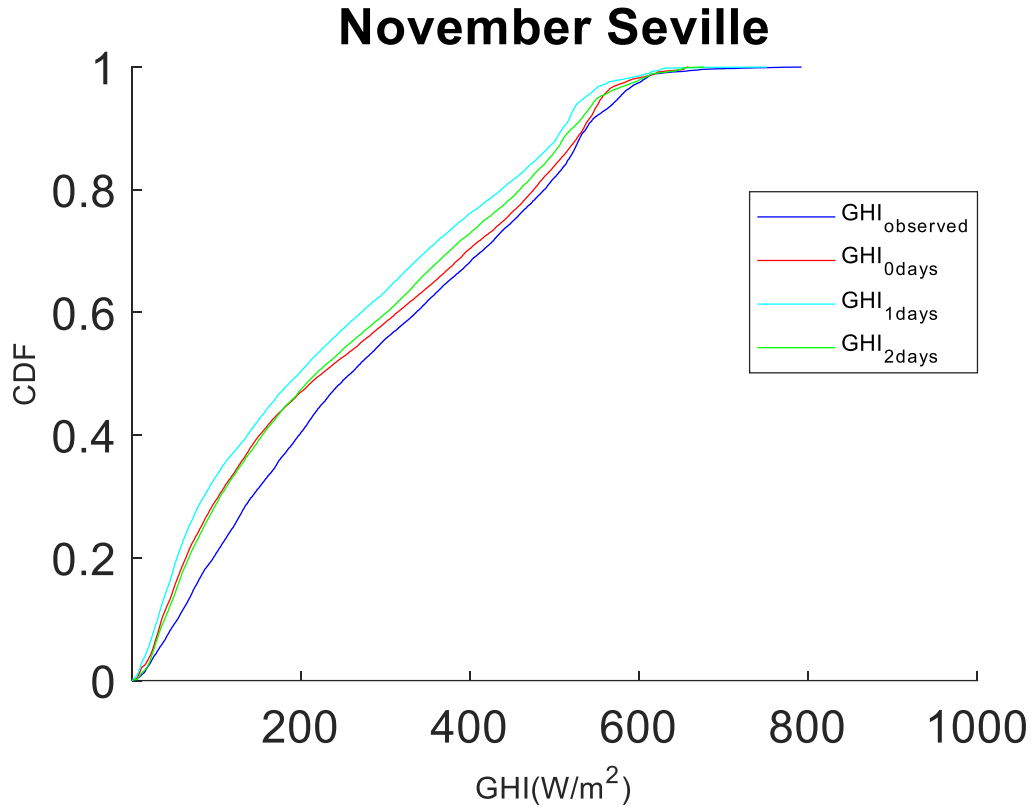


Figure 28- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min November time series

The month of November is indeed a more stabler month where the 4 curve get near, returning to levels that are even better to what was observed in January. It is the 1-day curve (light cyan in figure 27) the one which gets the most deviation from the dark blue observed GHI curve.

0-days and 2-days ahead curves show instead a very similar plot that gets actually a similar distribution to GHI observed.

Finally, the month of December looks considerably dissimilar to any other month assessed earlier, it starts as usual with the dark blue curve under the three forecast curves but at a value of around 180 W/m² it catches them up and start leaving them below.

This is the only month where this effect is observed in GHI 1-min series, it resembles what could be observed in Figure 14 where the same month was analyzed for DNI 1-min distribution.

The effect of this overestimation of the forecast is starker in the case of global irradiance.

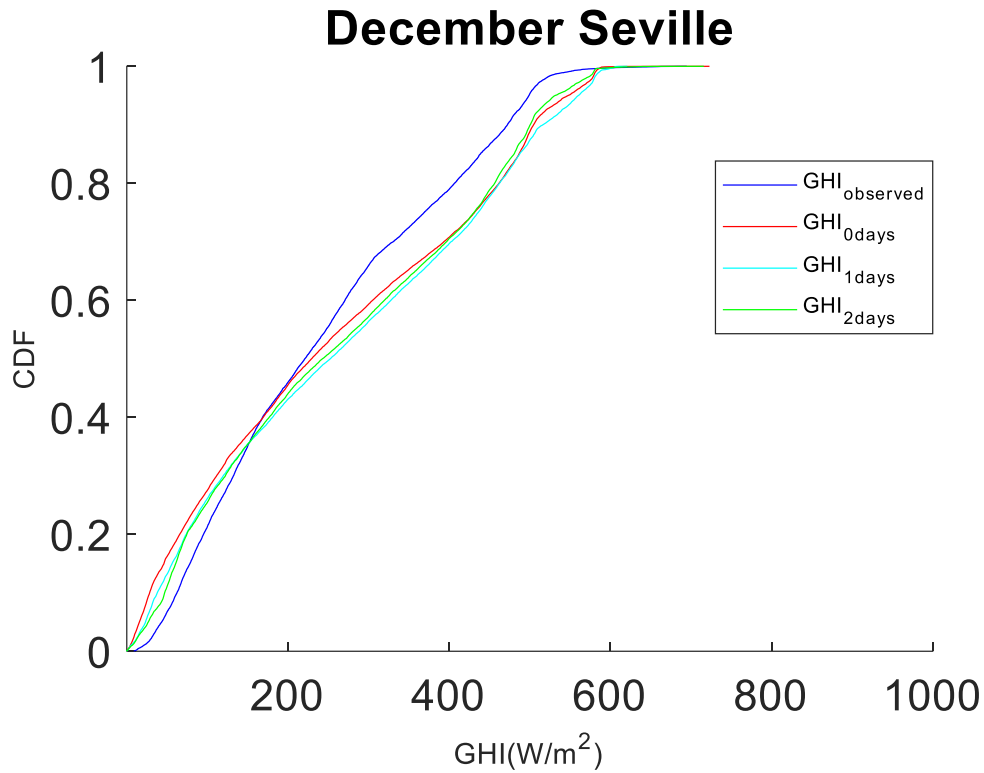


Figure 29- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min December time series

In summary, we can see that the trends observed when assessing DNI series can also be detected when assessing the case of global horizontal irradiance, however overall results for all months seem to indicate the GHI forecasts are closer to the observed series than its direct equivalent for that season. This could be explained by assuming that the variability associated to global series is lower, which means they vary in a more regular (and thus predictable) way.

This time, we observe how, when treating each month as a separate data series, the prediction for the same day stands as a better forecast than its 1 day ahead homologous 8 out 12 months (66,67% of the time), but some months in which this forecast deviates in excess from the observed series worsen its overall value. Oddly enough, the 2 days ahead forecast shows unexpectedly low values, which is a trend that was as well observed in the previous DNI section.

Global Horizontal	KSI 0 days (W/m ²)	KSI 1 days (W/m ²)	KSI 2 days (W/m ²)
GHI _{1-min} January	36,27	53,62	34,55
GHI _{1-min} February	41,89	46,13	24,27
GHI _{1-min} March	48,42	55,49	33,10
GHI _{1-min} April	68,36	44,37	42,01
GHI _{1-min} May	92,29	99,37	89,89
GHI _{1-min} June	20,11	13,95	12,11
GHI _{1-min} July	11,00	10,56	12,88
GHI _{1-min} August	13,80	6,54	9,31

GHI_{1-min} September	62,80	66,88	62,14
GHI_{1-min} October	61,44	63,17	58,90
GHI_{1-min} November	23,65	47,92	29,26
GHI_{1-min} December	31,93	36,78	29,76

Table 12- KSI values for 1-min GHI monthly sets.

The results here in the line of the observations taken after ongoing the homologous analysis on DNI, we see how the phenomena observed in 1-min resolutions is as well present in the data with both hour and day resolutions and again, it was found that through same-month comparison amongst resolution, the downsizing of the resolution bears a lower divergent area to the reference data within, though it can be observed that this effect is less noticeable this time. This can albeit e due to the fact that the overall KSI are lower in GHI as these parameters feel certainly more softly biased as a result of variability.

6.1.5. Kolmogorov-Smirnov Test results for 1-hour GHI time-series

We now move to the mean data to check whether the trends observed previously are still shown which will imply they are not product of single point deviation from observations, but a generalized trend observed regularly during hours.

	KSI 0 days (W/m ²)	KSI 1 days (W/m ²)	KSI 2 days (W/m ²)
GHI _{1-hour}	41,47	41,21	34,77

Table 13- KSI values for 1-hour GHI annual sets.

All the observations taken previously for 1-min resolutions can still be observed when speaking of hourly resolutions which strengthens the hypothesis of same-day and day-ahead predictions behaving fairly similar and 2 days ahead prediction closely following the real curve.

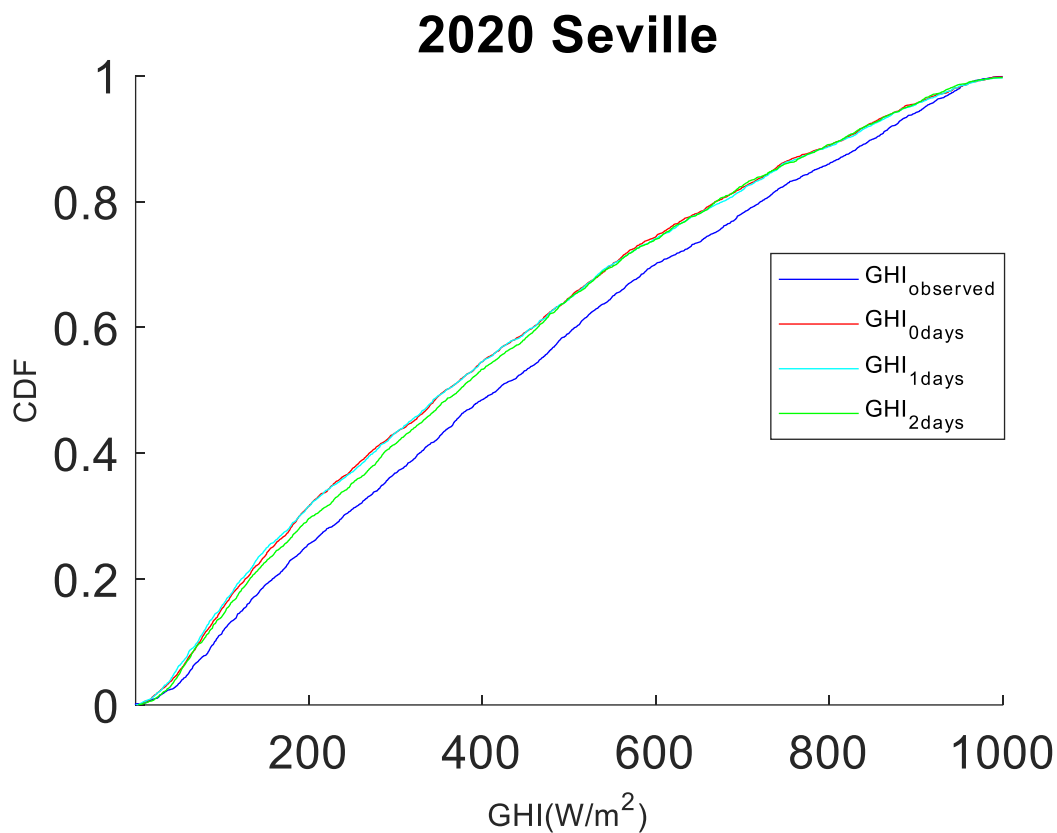


Figure 30- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-hour Annual time series

The CDF curves plotted in the figure above show that the three forecast are similar here in terms of similarity in variability to the measured data (observed series, in dark blue). The 2- day forecast stands as the most similar one as can be seen in table 13, the same day and day ahead curves (red and cyan) extremely similar this time.

	KSI 0 days (W/m ²)	KSI 1 days (W/m ²)	KSI 2 days (W/m ²)
GHI_{1-hour} January	36,06	53,50	34,08
GHI_{1-hour} February	42,73	47,14	24,19
GHI_{1-hour} March	49,08	55,35	33,65
GHI_{1-hour} April	68,93	44,15	41,76
GHI_{1-hour} May	95,23	100,59	91,13
GHI_{1-hour} July	20,83	14,72	11,08
GHI_{1-hour} July	11,87	11,48	14,23
GHI_{1-hour} August	14,80	8,65	12,28
GHI_{1-hour} September	63,50	68,16	62,64
GHI_{1-hour} October	61,41	62,94	58,71
GHI_{1-hour} November	23,73	46,87	28,74
GHI_{1-hour} December	24,28	28,44	22,71

Table 14- KSI values for 1-hour GHI monthly sets.

We observe how when compared for the yearly set analysis for this resolution whose results figure in table 13, most of the results in table 14 are quite dissimilar, showing generally higher values. The comparison to those yearly set included in table 13 only holds for the winter period which goes from early January to March, the rest of the year follow trends that are actually similar to the analysis for the 1-min GHI series. The 2-days GHI 1-hour is specially impressive as it scores the best overall KSI 9 of 12 months.

6.1.6. Kolmogorov-Smirnov Test results for daily GHI time-series

It may be observed that the forecast using the accumulated irradiance over a whole day behave with an overall poor behavior when compared to its 1-min and 1-hour equivalents.

Still the comparison amongst then is similar to what observed on the previous cases but in this case the advantage of 2 days ahead forecast is reduced to a lower extend.

	KSI 0 days (kWh/m ²)	KSI 1 day (kWh/m ²)	KSI 2 days (kWh/m ²)
GHI_{1-day}	67,48	67,73	59,76

Table 15- KSI values for daily GHI annual sets.

When compared to the data in table 9, an increase of around a 36% is observed, as these are the last three KSI for GHI distributions, we can conclude that the greater KSI indexes meaning a greater dispersion from real values is a constant for GHI over DNI.

The 0-days and 1-day forecast are the ones resembling notably, while the 2-days forecast obtains here a better result. This is in the line of the rest of the results and allow us to categorize the results in subsection 6.1.3 as non-determining.

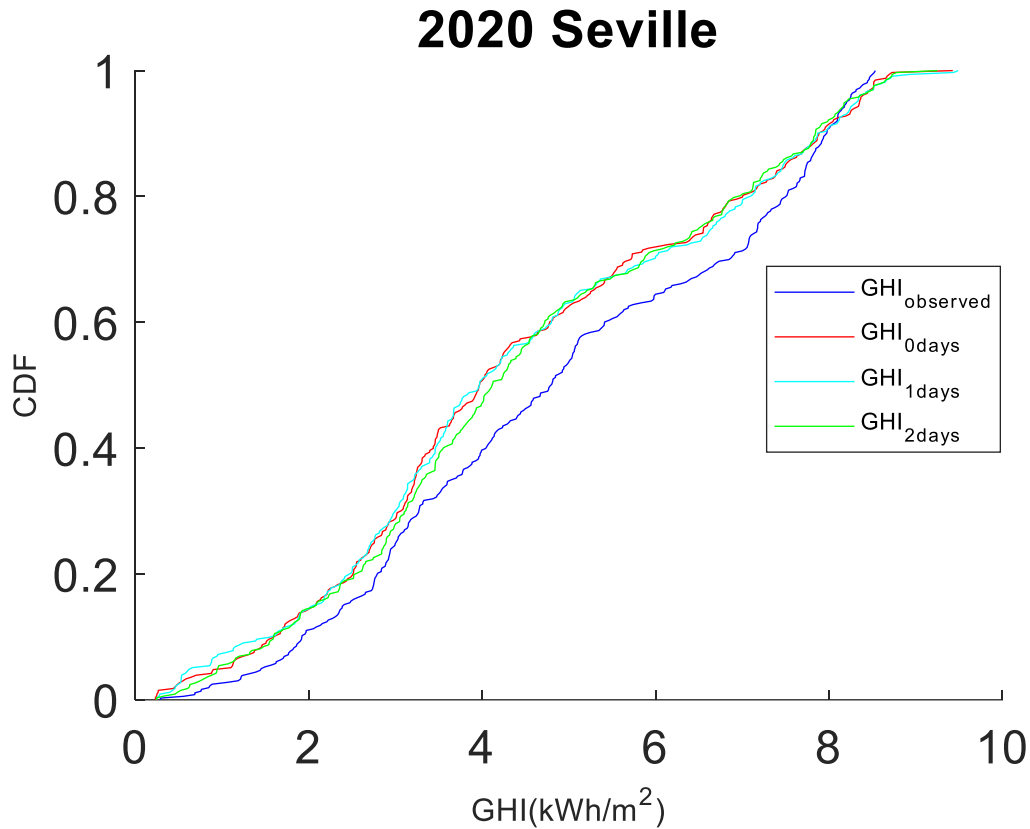


Figure 31- CDFs of the observed and synthetic GHI daily Annual time series

When observing the curves in figure 31 an overall sense of continuity of the conclusion found in subsections 6.1.4 and 6.1.5 remains. We found the blue curve for the observed daily GHI series leaving the forecast curve about it and the three forecast having a smaller distance between them than the gap with the observed data. The 2-days forecast slightly near to the real measured GHI.

As well as in the previous sections we undergo the separate monthly set analysis of the series.

	KSI 0 days (kWh/m²)	KSI 1 days (kWh/m²)	KSI 2 days (kWh/m²)
GHI_{1-day} January	40,23	58,10	39,70
GHI_{1-day} February	25,60	30,94	15,41
GHI_{1-day} March	27,83	32,82	18,91
GHI_{1-day} April	24,42	25,20	24,42
GHI_{1-day} May	56,31	57,37	54,16
GHI_{1-day} July	14,45	10,30	13,44
GHI_{1-day} July	5,00	5,58	5,97
GHI_{1-day} August	7,23	3,70	9,16
GHI_{1-day} September	28,84	32,93	37,18
GHI_{1-day} October	40,87	41,87	38,89
GHI_{1-day} November	22,30	39,38	23,42
GHI_{1-day} December	33,24	34,53	27,27

Table 16- KSI values for daily GHI monthly sets.

When it comes to the monthly set analysis of the daily GHI series the results are surprisingly similar to those of the daily DNI series monthly set analysis (table 10), so there is no clear answer to why performing such analysis but to a 1 year set leads to so dissimilar results as the ones represented at tables 14 and 12.

The differences between seasons are here less remarkable as well, as they were in the daily DNI analysis so we can confirm a trend of seasonal differences being smoothed through resolution downscaling to day resolutions.

6.1.7. Stability Analysis

Following with our variability analysis, the next parametric expression of variability that we will assess is the stability index. This, as stated earlier in the literature review section, is a quantification of the total increment in a specified time interval ΔT which later classifies as unstable those whose increments surpass a previously established threshold value.

The threshold was according to reviewed literature established in 500 W/m² for a time interval of 10 minutes (for 1-min resolutions). We remember that this threshold implies that if the cumulative bias inside this 10 min period exceeds that value, then this period is considered as unstable. We also the percentual instability, this means the percentage of unstable periods over the total studied periods, as well as the discrepancy rate, which means the percentage of times the forecasted series was addressed as unstable and the observed series as stable or vice versa.

The obtained results were the following:

	1-min DNI 0-days	1- min DNI 1-day	1- min DNI 2-days	1- min DNI Observed
Total Non-Stable Periods	18491	18477	18817	19893
Instability (%)	35,08	35,05	35,70	37,74
Discrepancy (%)	12,41	14,68	15,27	-

Table 17-Stability Analysis for 1-min DNI

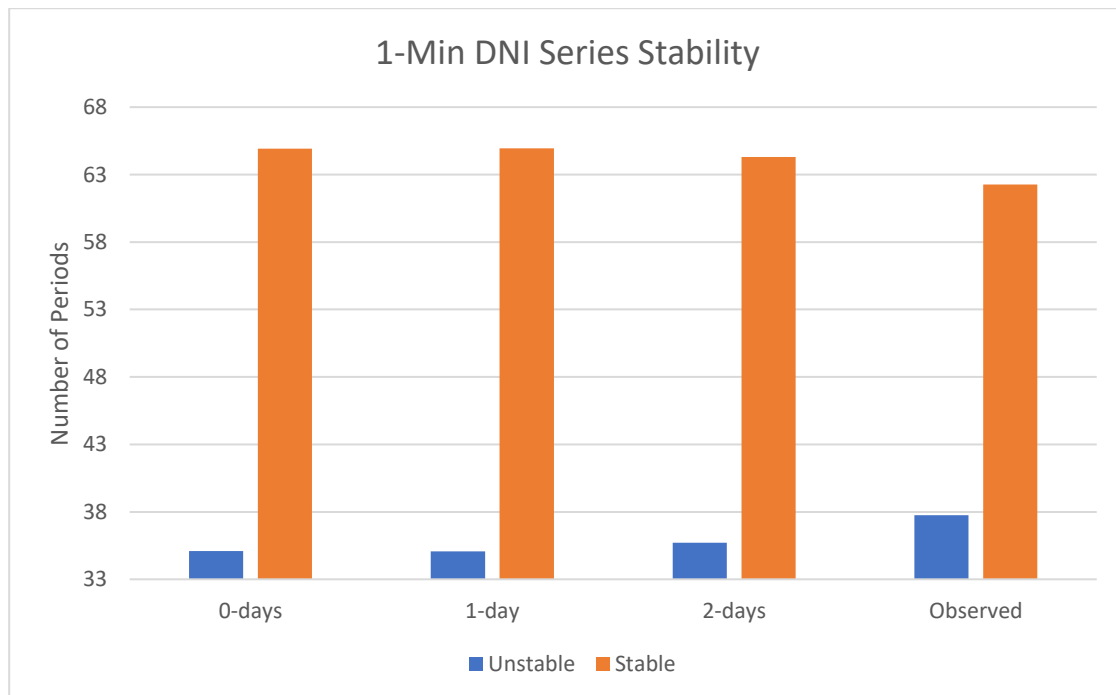


Figure 32- Series Stability for 1-min DNI

The total number of identified periods were 18491, 18477 and 18817 which rounds in each case the 35% of the total forecasted horizon. The observed series proved to be unstable at 19893 intervals, which supposes 37% of the lapsed intervals; this is clearly more unstable than the forecasted series. When assessing the discrepancy from the forecast to the observed series, that is the percentage of the time intervals in which one is categorized as stable and the observed as unstable or vice versa, the forecast for the same day bears the highest similarity in terms of stability to the observed series, even when the total amount of stable periods is the lowest of them all.

	1-min GHI 0-days	1- min GHI 1-day	1- min GHI 2-days	1- min GHI Observed
Total Non-Stable Periods	21572	21388	21615	23376
Instability (%)	40,93	40,58	41,01	44,35
Discrepancy (%)	5,99	6,66	6,39	-

Figure 33- Stability Analysis for 1-min GHI

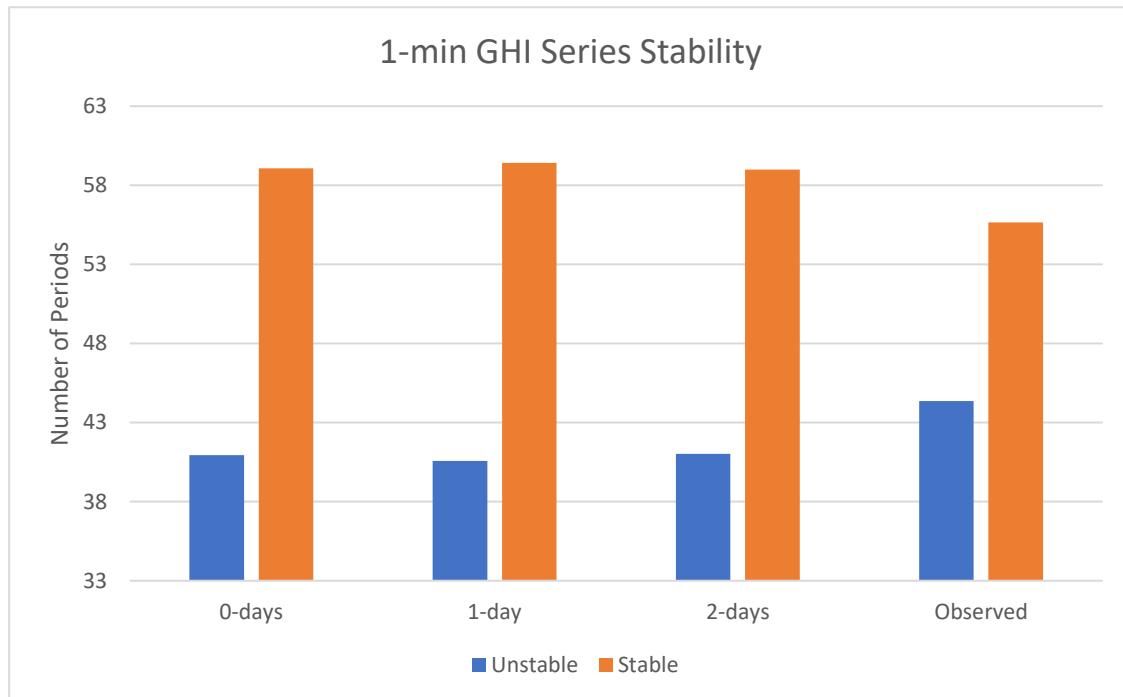


Figure 34-Series Stability for 1-min GHI

As we may expect in forehead, the GHI series holds more unstable intervals with 21572, 21388 and 21615 for the forecast and 23376 identified unstable lapses for the observed series, which represents a global increment of 16% more unstable than the DNI series. Again the 0-days forecast bears the lowest discrepancy to the observed series, which strengthens our conclusions obtained from the DNI stability analysis. The dissimilarities with the observed are again in the line to what could be observed in the case of direct normal forecasted irradiances.

When averaging to hourly resolutions, the number of unstable periods quickly drops with no significant differences this time amongst direct and global data series, the trend of the observed series being rather unstable when compared to its forecast is still shown here though this is unclear in the case of GHI which may very well be explained to the very own nature of the averaged series.

	1-hour DNI 0-days	1-hour DNI 1-day	1-hour DNI 2-days	1-hour DNI Observed
Total Non-Stable Periods	261	249	270	266
Instability (%)	29,03	27,69	30,033	29,58
Discrepancy (%)	14,68	17,90	18,68	-

Figure 35-Stability for 1-hour DNI series

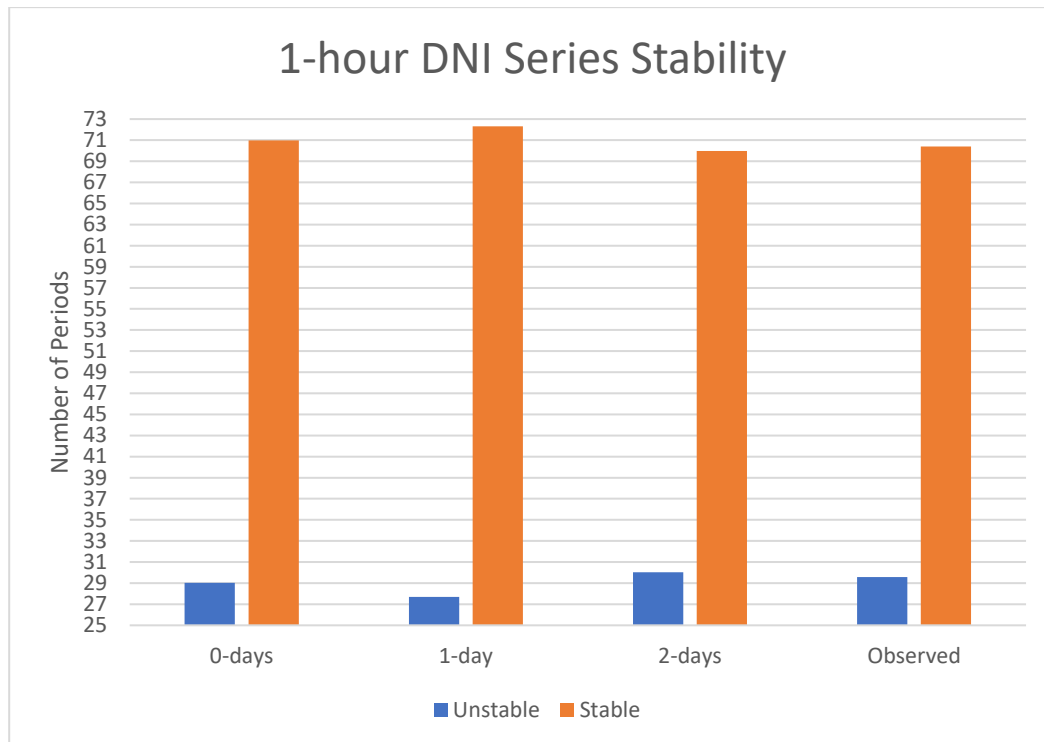


Figure 36- Series Stability for 1-hour DNI

We observe how the instability percentage here drops from around 40% values around 30%, the observed data series undergoes this reduction as well. This means that we must expect the 1-hour data series to be always more stable than higher resolution equivalent series which is actually rather intuitive, as we neglect the effect of point deviations.

	1-hour GHI 0-days	1-hour GHI 1-day	1-hour GHI 2-days	1-hour GHI Observed
Number of Non-Stable Periods	243	250	263	289
Instability (%)	27,03	27,80	29,25	32,14
Discrepancy (%)	8,56	10,34	9,67	-

Figure 37-Stability Analysis for 1-hour GHI

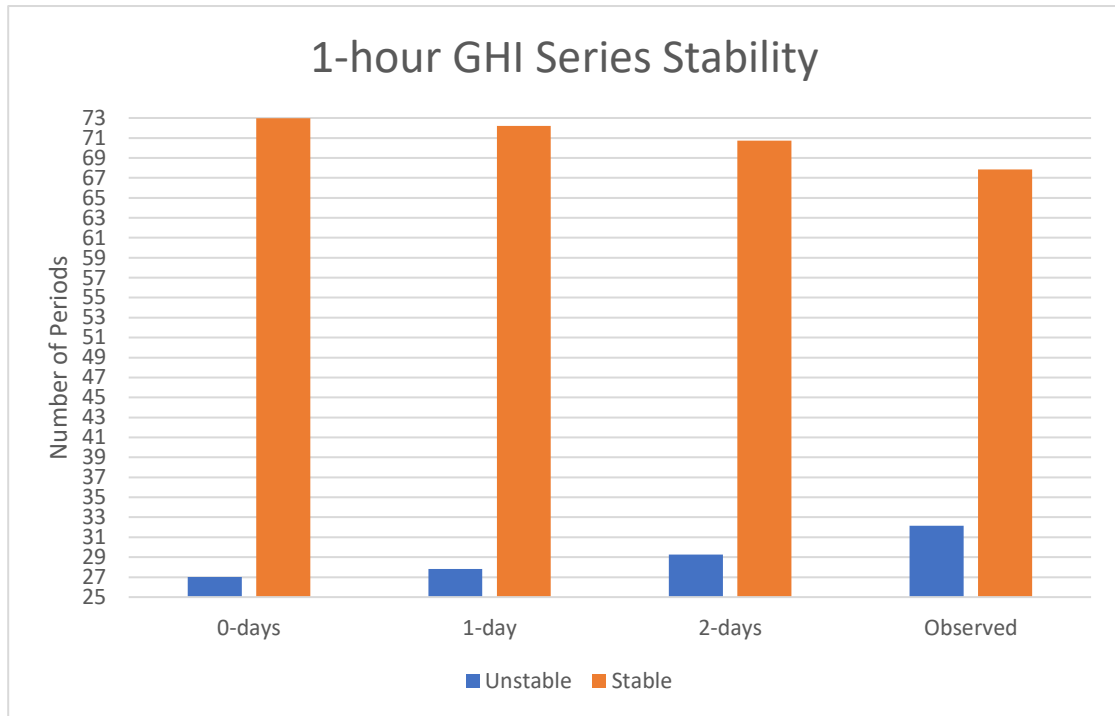


Figure 38-- Series Stability for 1-hour GHI

The instability reduction effect is present as well when averaging to 1-hour resolution, and while GHI is here again more unstable, this time this difference is lowered.

No meaningful conclusions would be obtained from performing a stability analysis of daily accumulated values (1-day resolution) as the variation experience throughout a 24-hour periods will cause all studied periods to be unstable and hence, this will be dismissed.

We observe that the observed data series has always a lower stability than its forecasts, specially at 1-min resolutions. This could be due to the fact that our tool is not totally able to predict sudden instability periods produced by weather effects such as sudden wind gusts or cloud formation which may be the reason for the observed discrepancies. When downscaling to 1-hour resolution the comparison between forecasts and observations seems to hold itself.

In any case the relative error to the observed series is in every case lower than 10%, with no steep differences amongst forecasts for this point which may make us conclude that the stability of the forecasts has a similar behavior than the observed data.

6.1.8. Standard Deviations of Increments

As stated previously on the indexes section of this document, the Standard Deviation of Increments (SDI) becomes a rather well-known base for estimating the variability of a data series.

We implement the calculation of the aforementioned parameter on a 24-basis for both direct and global irradiance series to create series to which a distribution approach could be implemented.

	KSI (0 days)	KSI (1 day)	KSI (2 days)
SDI _{1-min}	46,92	57,42	47,98
SDI _{1-hour}	7,35	4,91	8,03
SDI _{day}	9,71	15,66	13,76

Table 18- KSI values for DNI SDI annual sets.

It can be observed that the distributions in the table above matched the observed series for the entire interval, the results for the three forecasted day are quite similar, with the pattern of the 0-days and 2-days behaving fairly better than the 1-day equivalent, which feels to be a pattern repeating throughout the entire study.

It is rather interesting the fact that when reducing the series resolution, the SDI quickly drops, it is understandable in the case for the day resolution given the fact we translate to kWh/m², but in the case of the 1-hour it is still rather unexpected.

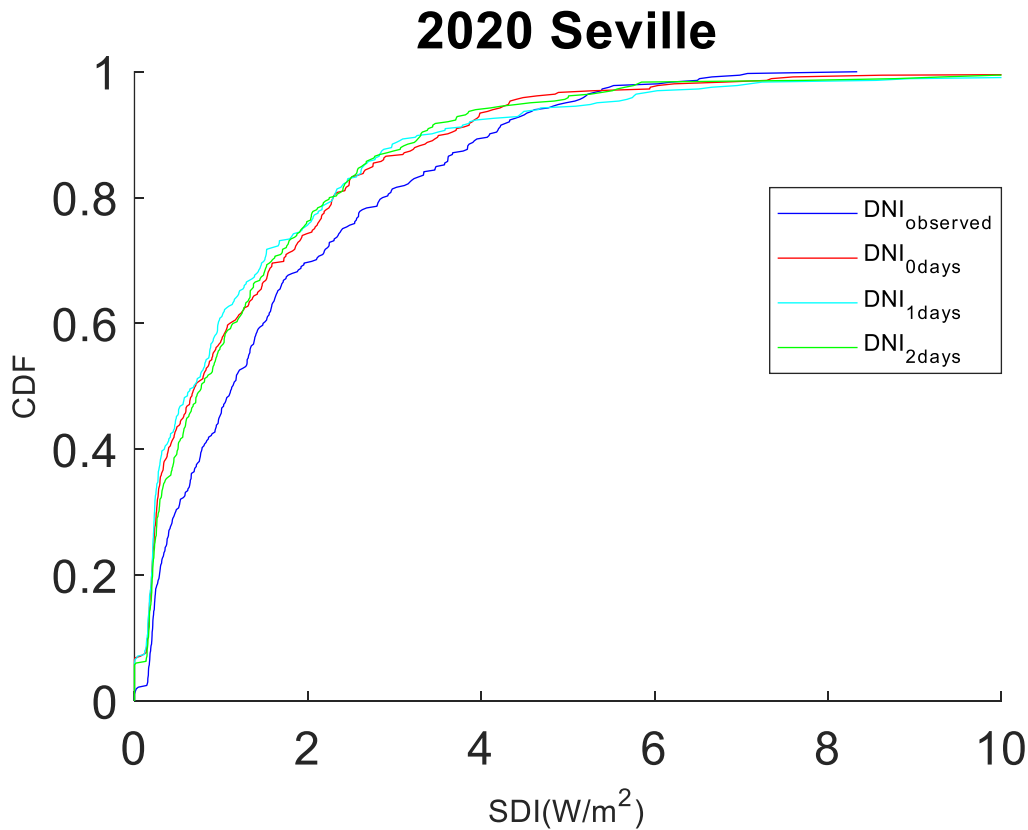


Figure 39- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-min SDI annual series

In Figure 39, we compare the three SDI for DNI 1-min distributions, of all the three distributions the 1- day distribution is the one who resembles the measurements the least, as it is the uppermost one for the most part of the sample which means its values for SDI differ the most from its mean value and is thus the most variable one.

The one with the least variability this case is surprisingly the observed series which is surprising as we observed in the previous section that this was the one with the greater number of non-stable sections.

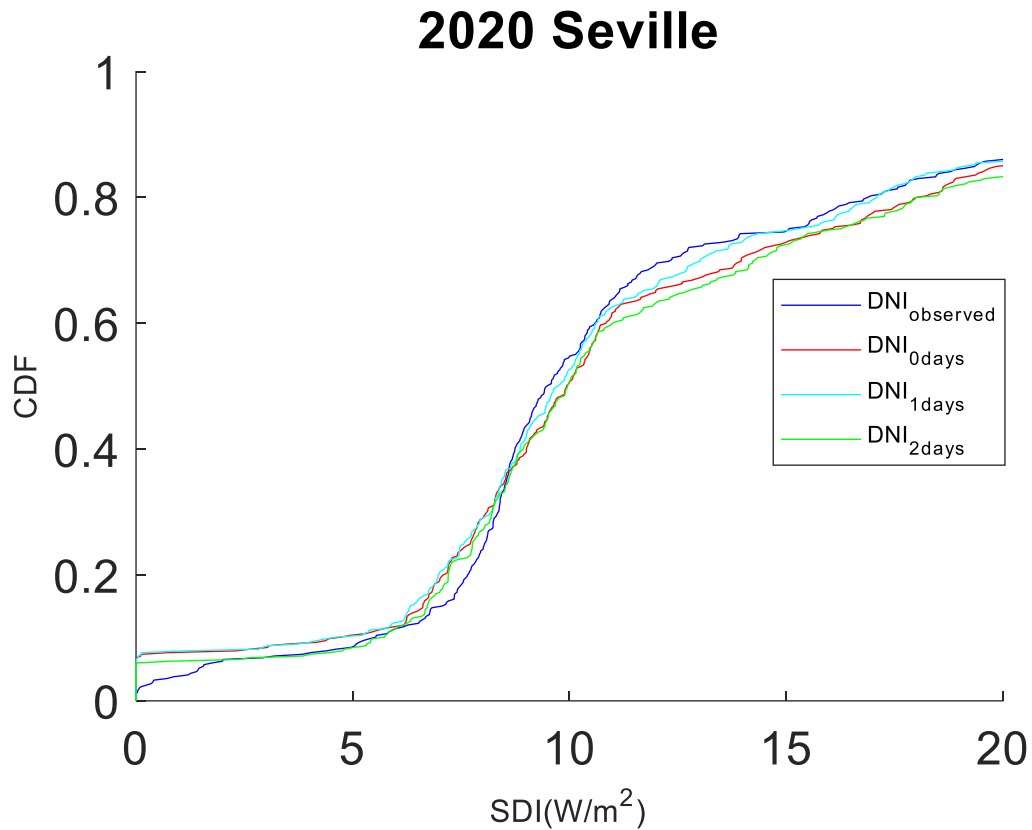


Figure 40- CDFs of the observed and synthetic DNI 1-hour SDI annual series

Figure 39 shows on the other hand a very different aspect to the 1-min DNI SDI CDFs in the previous figure, as it has a sharper ramp at the middle of the figure, which means that most of the values are around the same value which according to the figure is somewhere around 10 W/m².

Judging by Figure 39 and Table 18, the SDI series for 1-hour resolution resemble the variability of the real measurements greatly, as the 4 plots clearly follow alongside.

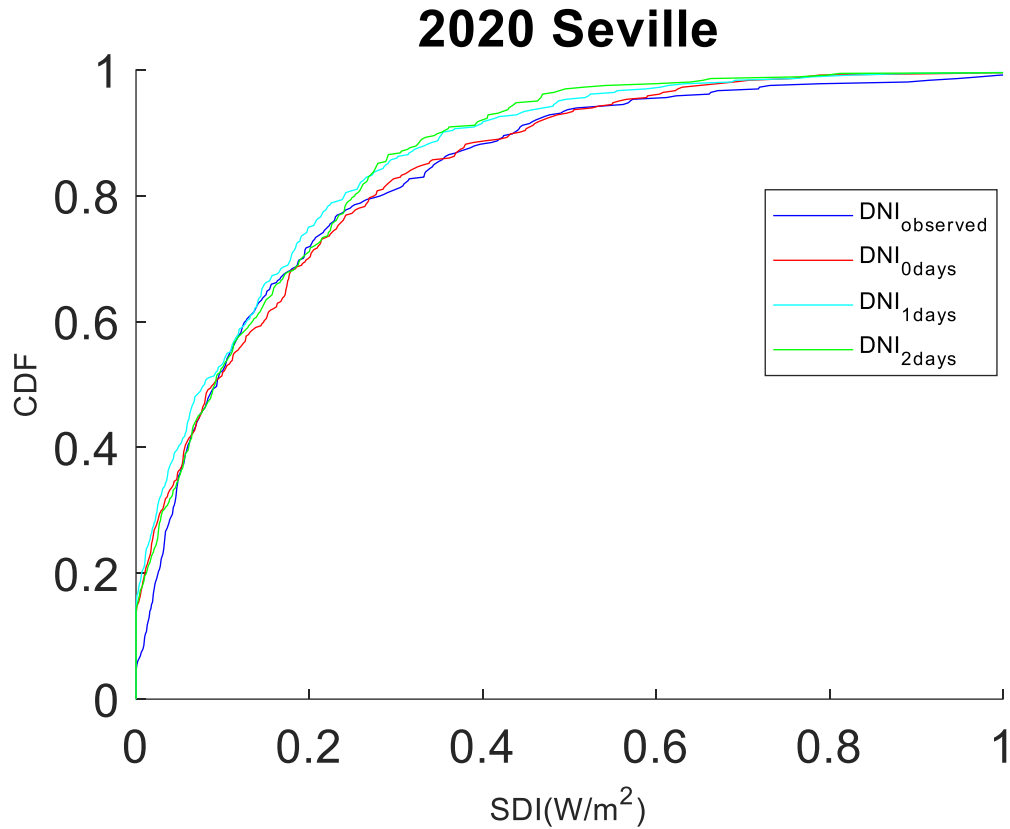


Figure 41- CDFs of the observed and synthetic DNI daily SDI annual series

Surprisingly, the observed curve is the one with the greatest values in figure 40, while the three forecast curves are following closely, with the 0-days curve having the lowest values for SDI and thus the greatest distance to observed. The 0-days behaves similarly to the observed series for the core part of the plot but both diverge when moving the values at the borders of the figure.

All these trends are as well present in SDI for global values, as it is reflected in table 19:

	KSI (0 days)	KSI (1 day)	KSI (2 days)
SDI _{1-min}	77,20	81,44	80,70
SDI _{1-hour}	9,95	9,79	7,87
SDI _{day}	46,47	32,51	33,54

Table 19- KSI values for GHI SDI annual sets.

We observe how again downscaling the resolution leads to a reduction in the distance to the observed series for all three forecasts, the overall distance to the observed increases here. We will examine each series set independently to find the reason thereafter.

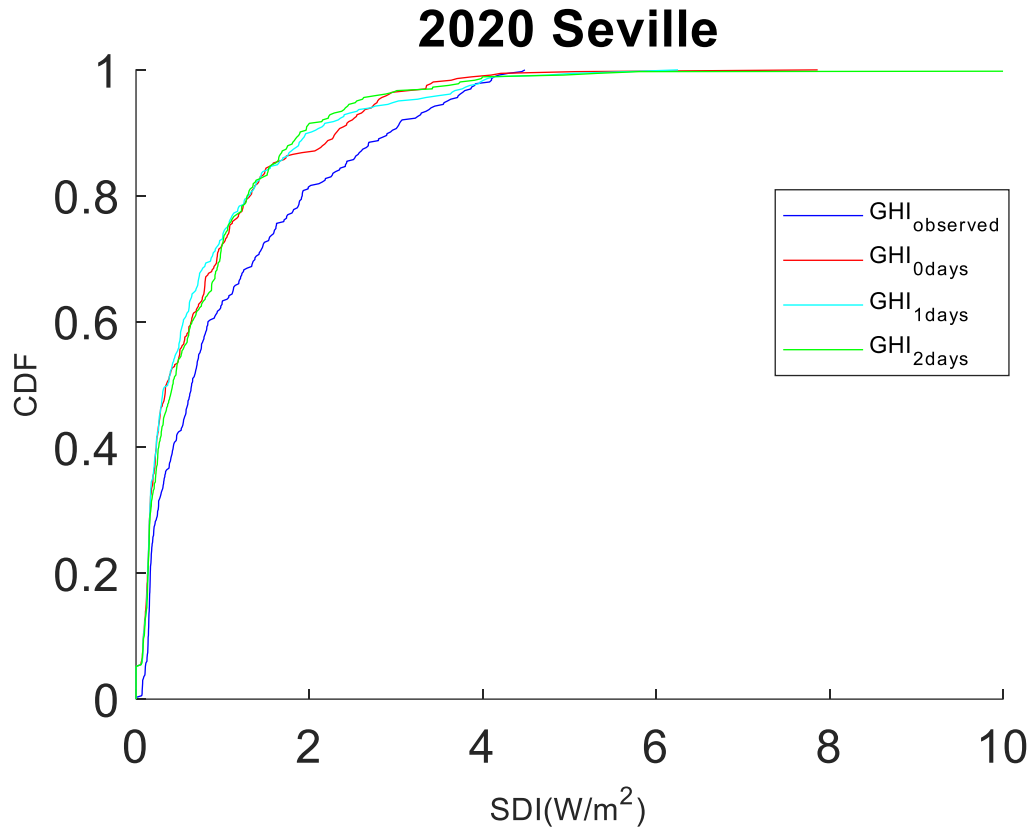


Figure 42 - CDFs of the observed and synthetic GHI 1-min SDI annual series

Figure 42 looks reasonably similar to Figure 39, with the observed series being the lower one and the 0-days being the one slightly closer to the observed data.

The increase in KSI indicators is related to the fact that the forecast curve shows a more prominent shape what indicates that all the values for SDI here cumulate around the same value around 3 to 5 W/m².

The values observed in Figure 39 lower in general terms, the ramp being produced slower and beginning at lower values.

This indicates that values for 1-min GHI SDI are in general higher and with a lower number of small values.

All this reveals, that when working with unusual high-resolution, GHI becomes a rather unstable and more variable parameter which deviates more from its standard value.

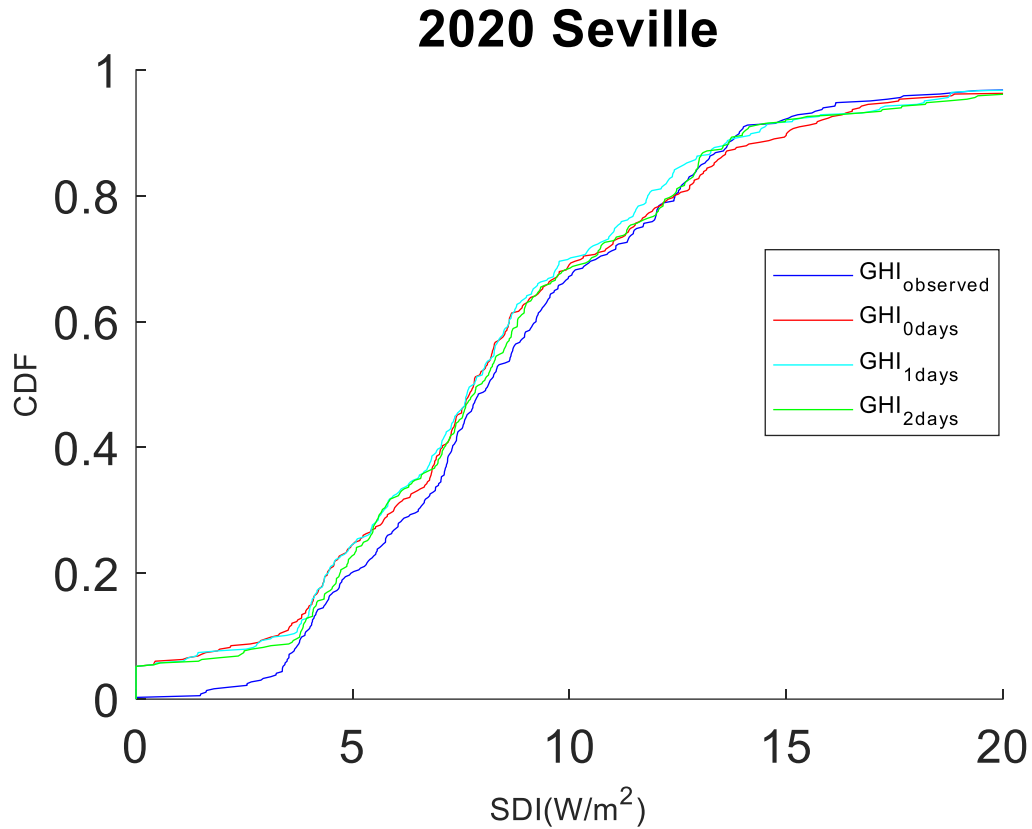


Figure 43- CDFs of the observed and synthetic GHI 1-hour SDI annual series

All what was mentioned for the 1-min GHI SDI is not so clearly observed when analyzing 1-hour resolution data.

On the contrary, all forecasts move near to the observed series and the distance measured through the KSI in table 19 does not increase to the one observed for the same resolution series in table 18.

Yet the values for SDI are bigger than in the DNI 1-hour SDI, hence, the values are increased both in synthetic and observed series when switching to GHI, but this does not affect the value of the KSI as they remain near themselves.

This did not occur at the 1-min values shown in figure 41, where a gap was observed between observations and forecast. The forecast there were clearly above the observed series in the plot.

All this reveals, that the 1-hour series are closer to the observed series due to the fact that the higher SDI in GHI are mostly due to short intervals of variable irradiance which increase the overall SDI and when averaging to get hourly values these are countered.

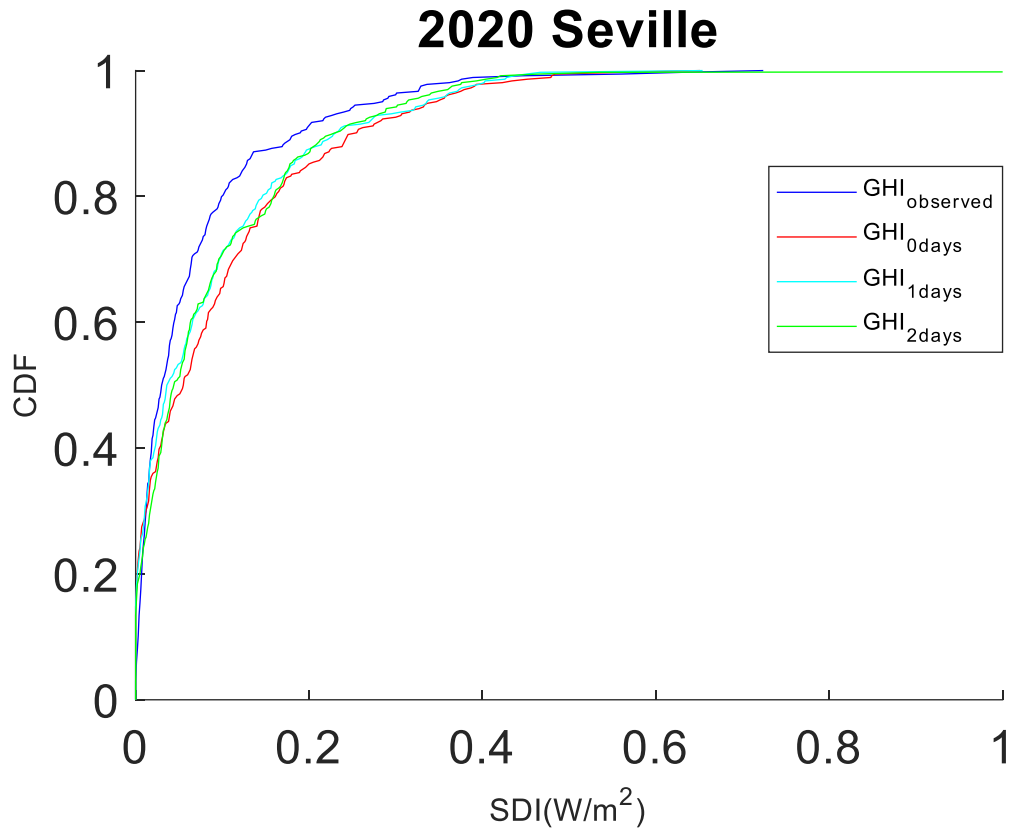


Figure 44- CDFs of the observed and synthetic GHI daily SDI annual series

The mentioned gap between the observed and the forecasted is as well present in the GHI daily SDI series, as seen on Figure 44.

We see, that when compared to Figure 41, where the same comparison was made but for the DNI daily SDIs, the overall values of CDF were smaller for the same SDI, as well as the observed being near to the forecasts.

That was something that also occurred in Figure 43, which strengthens all the analysis after it.

What does not feel so intuitive is the fact that here, the observed series has greater values for CDF for the entire dataset. This is the only figure where this occurs, and it happens because when accumulating all the values on a daily basis, the deviation to the standard value decreases due to the observed values being lower in the case of observed data. However, the reason why this did not happen so remarkably on the DNI daily SDI case are still unclear.

6.2. Energy Approach

Whereas the former distribution approach is mainly recommended for forecast assessment, there is also a skill score approach that becomes particularly useful when validating different forecasted series.

Skill score was sought as result of the urgent necessity of a normalized parameter for comparing forecast performed at different time resolutions or sites.

As documented by *Yang et al. [8]*, many different approaches have been adopted on the topic given the interested-on a cross-work related methodology.

Skill score always was intended to seek a comparison between the accuracy of a studied forecast, a reference forecast and ideal forecast (real observed series for the case), thus we need a measure for assessing accuracy.

For this task, MSE, MAE, and RMSE quickly springs to our mind as a common parametric determination of accuracy. RMSE stands above MAE in popularity due to the fact that the later weights equally all sort of error whereas the former assigns a greater penalty for large errors, which are especially concerning when assessing irradiance forecasts. There is no larger differentiation amongst MSE and RMSE since they only differ in a square root however root values are easier to handle, and this tilts the scale in its favour.

RMSE being selected as the main numeric determination of accuracy, we now move to estimating the skill score; several different approaches are available.

This RMSE is calculated on a daily basis for all three data series (1-min, hourly and daily basis) for both DNI and GHI, the results can be found on the Annex II of this document.

It would have been interesting to found in literature some foreign results for this parameter in order to undergo some cross-work study, however this would not be the case, since it's a relatively state of the art methodology and there is not yet much documentation available about it.

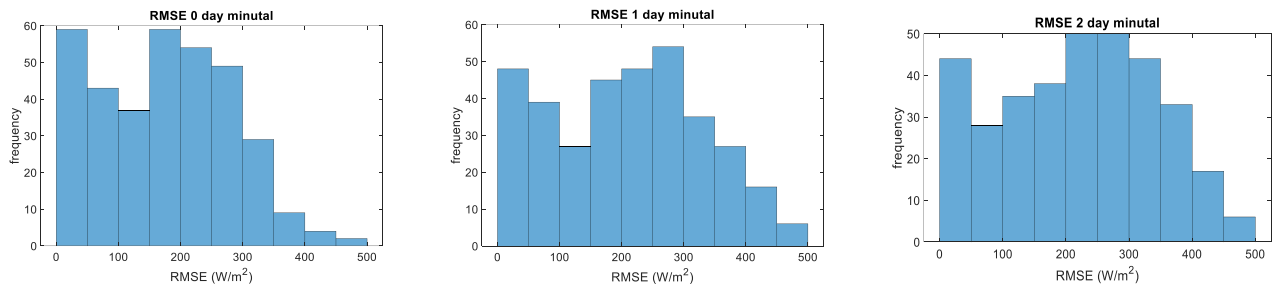


Figure 45- Error frequency distribution in 1-min GHI series

It can be observed by comparing through the 1-min RMSE histograms that most of the error for 1-min resolutions revolves around medium values in the gap between 150 and 300 W/m². The three distributions look reasonably similar, but it is the 0-day distribution the one who feels like showing an smaller frequency for bigger RMSE values. This can be considered alongside our conclusions for the distribution approach on the previous section, where we concluded it was easily the one with highest variability, judging by its enhanced SDI values. This however does not prevent it from resembling the observed series in a better way than its 1-day to 2-days equivalent, which show indeed a larger number of over 300 W/m² error.

In any case, the distributions are clearly familiar and the distribution of error, while slightly more distributed in the case of the 2-days forehead, does reveal similarities in RMSE amongst the three series.

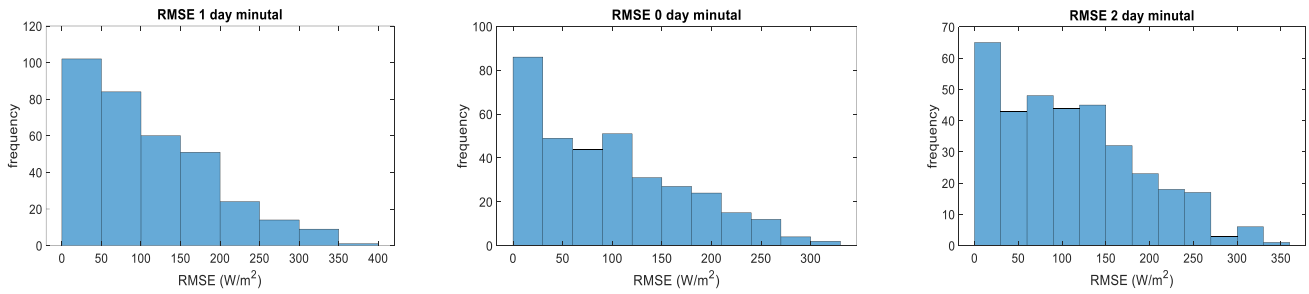


Figure 46-Error frequency distribution in 1-min GHI series

When moving to the RMSE distribution for 1-min GHI series, the difference with the DNI series for the same resolution becomes evident. GHI diverges more from the observed series in terms of variability, but not necessarily in terms of energy content. In fact, it is this variability what allows the forecasted series to reduce its overall RMSE values. It can be observed that the frequency for lower RMSE values under 100 W/m² increases for all 1-min GHI series, but the frequency of RMSE values over that threshold is reduced at all levels, as well as the number of higher RMSE values over 300 W/m², which are almost no present in the distributions.

We observe how it feels like increasing the forecasted horizon seems to flatten the histogram curve. This means that for the same-day forecast the distribution is more oriented to the left, which suggests a higher number of smaller errors when compared to its 2-days ahead equivalent, whereas the day-before forecast is somewhat a middle step between these two.

The difference between the 0-days, 1-day and 2-days distributions is less clear for the case of 1-min GHI histograms.

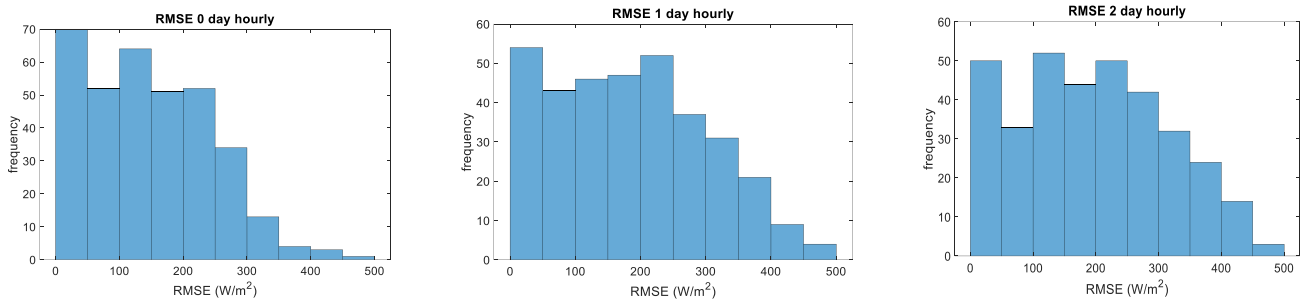


Figure 47- Error frequency distribution in 1-hour DNI series

When upgrading to 1-hour resolution we see how the curves for the three 1-hour DNI forecast get smoother, meaning the RMSE frequencies distribute for the whole interval of RMSE values. 0-days forecast stands again as the forecast with the smaller frequency for high values.

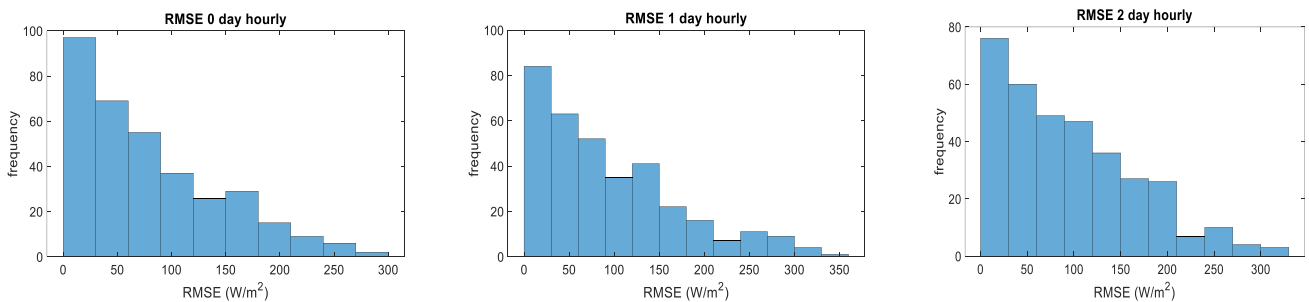


Figure 48- Error frequency distribution in 1-hour GHI series

The previously observed trend of GHI showing lower RMSE values than DNI is also observed in 1-hour distributions, as can be observed in figure 48. this time the 2-day curve has the lowest frequency for under 100 W/m², which seems to be a common trend all over the analysis, but it is notorious how it is the most distributed in terms of RMSE frequency, the frequency for the highest values is as well, notoriously low for the 2-days ahead forecast this time.

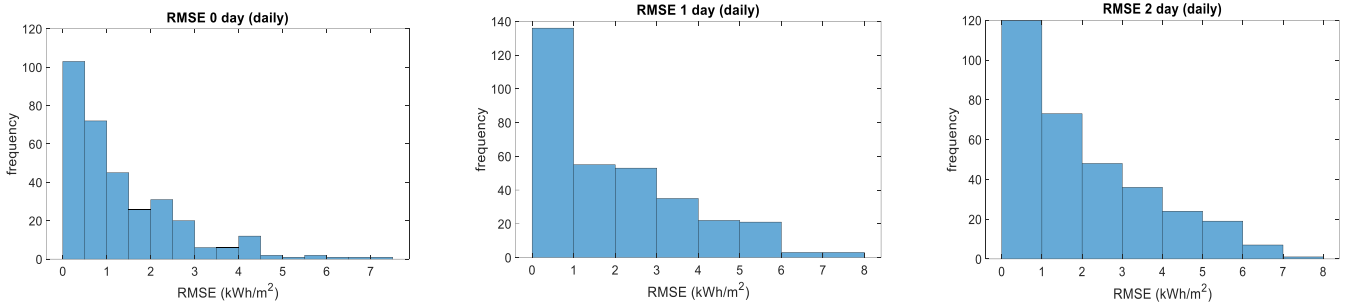


Figure 49- Error frequency distribution in daily DNI series

Daily resolutions imply a big effect in terms of reducing the frequency of the bigger errors. It can be observed how for the three daily resolution forecast smaller errors get a visibly higher frequency which is represented in the fact that the first column representing smaller errors under the 1 kWh/m² value is comparatively higher than the rest of the histogram for the three RMSE distributions represented in figure 49.

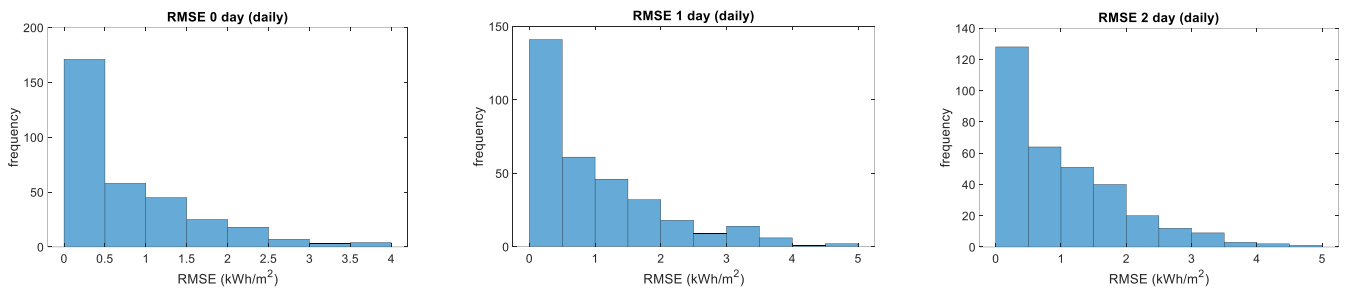


Figure 50- Error frequency distribution in daily GHI series

That effect is even more notorious in the case of daily GHI RMSE distribution, judging by figure 50. It can be observed how the frequency for RMSE under 1 kWh/m² reaches peak values this time. The differences between GHI and DNI series RMSE is not as evident for daily resolution as it was for 1-min and 1-h resolutions.

7. Discussion

We now will proceed to discuss our results for this section by comparing what was obtained with values resulting from the work of other investigators on related topics.

We see how *Schillings, Meyer and Manstein* [12] performed a similar RMSE on DNI data series at different sites of the Arabian Peninsula. The main difference between our work and theirs lies in that instead of performing the parametric calculations for every 24-hour period, they consider the entire data series as a whole and calculate a single RMSE for each series belonging to a different site. Some similar assessment was performed on GHI in the Netherlands by Van Westrhenen et al. [13].

Hence, their results are more in the middle term, this means that our results show greater values for days belonging to months that can be considered an instability period such as February or May but represent a considerably lower error at stable periods such as summer.

The results from their field study compared to our results for the RMSE calculated accordingly for the DNI series on an hourly averaged basis remain the following:

Index	RMSE (0 days) (W/m ²)	RMSE (1 day) (W/m ²)	RMSE (2 days) (W/m ²)
RMSE _{1-hour} DNI	198,64	235,05	244,30

Table 20- Root Mean Square Error (DNI) for the entire series period

Index	RMSE (0 days) (W/m ²)	RMSE (1 day) (W/m ²)	RMSE (2 days) (W/m ²)
RMSE _{1-hour} GHI	134,69	148,31	147,09

Table 21- Root Mean Square Error (GHI) for the entire series period

While their results were:

Paper	RMSE (W/m ²)
Schillings, Meyer and Manstein [12]	166.9
Renno et al. [13]	160.3
Khativ, Mohamed and Mahmoud [14]	342

Table 22- Results of Schillings, Renno and Khativ [10] on RMSE over DNI hourly series

Paper	RMSE (W/m ²)
Van Westrhenen et al. [15]	115

Table 23-Results of Schillings, Renno and Khativ [10] on RMSE over GHI hourly series

Be it as it may, the results on the Arabian Peninsula are lower than what was recorded by our tool, but this could however be due to the fact that the climate on their site is more stabler and varies

at a slower pace than in our site, which again restrengthenens the idea of the skill score as a fundamental parameter for assessing irradiance.

Some other estimations on this could be found on *Renno et al.* [13] which finally concluded on a RMSE of 160.3 for the same sort of series. We saw RMSE is largely dependent of the measuring conditions as could be seen on *Khativ, Mohamed and Mahmoud* [14] work which finally estimated for the same parameter.

Previously, on figures 45 to 48 we analyzed the frequency distribution of error for the different RMSE values. It would indeed be interesting to check the seasonal distribution of RMSE to see how the tool performs over the different seasons of the period of study.

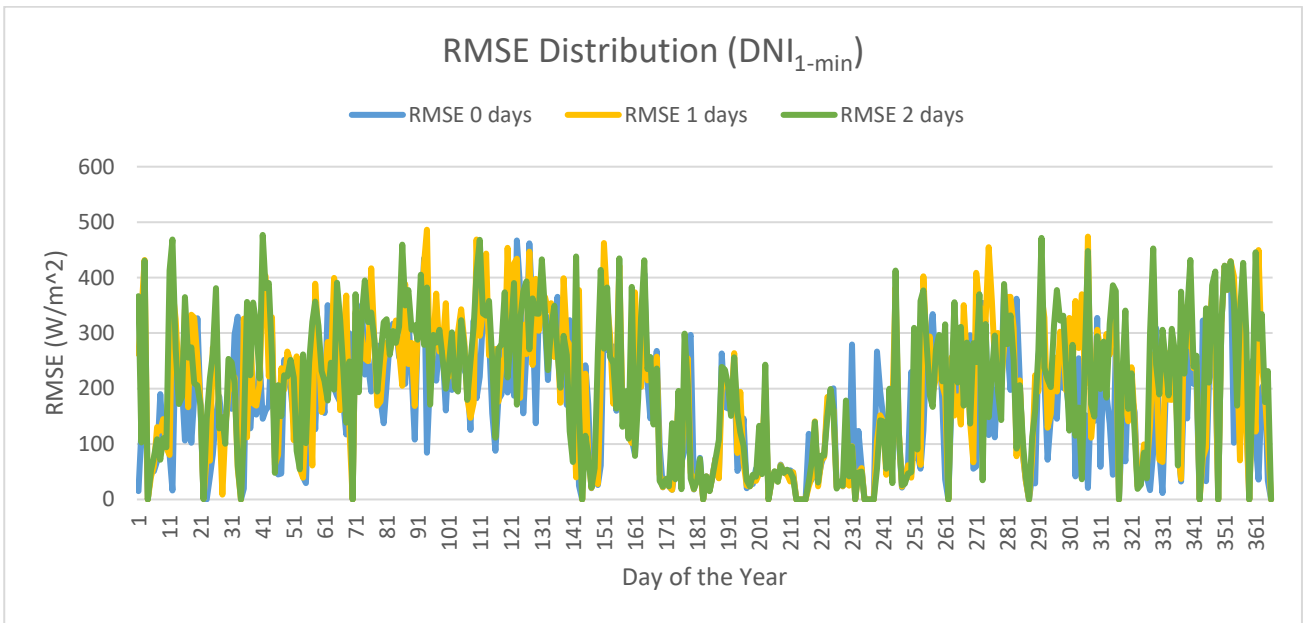


Figure 51-RMSE Seasonal Distribution on 1-min DNI

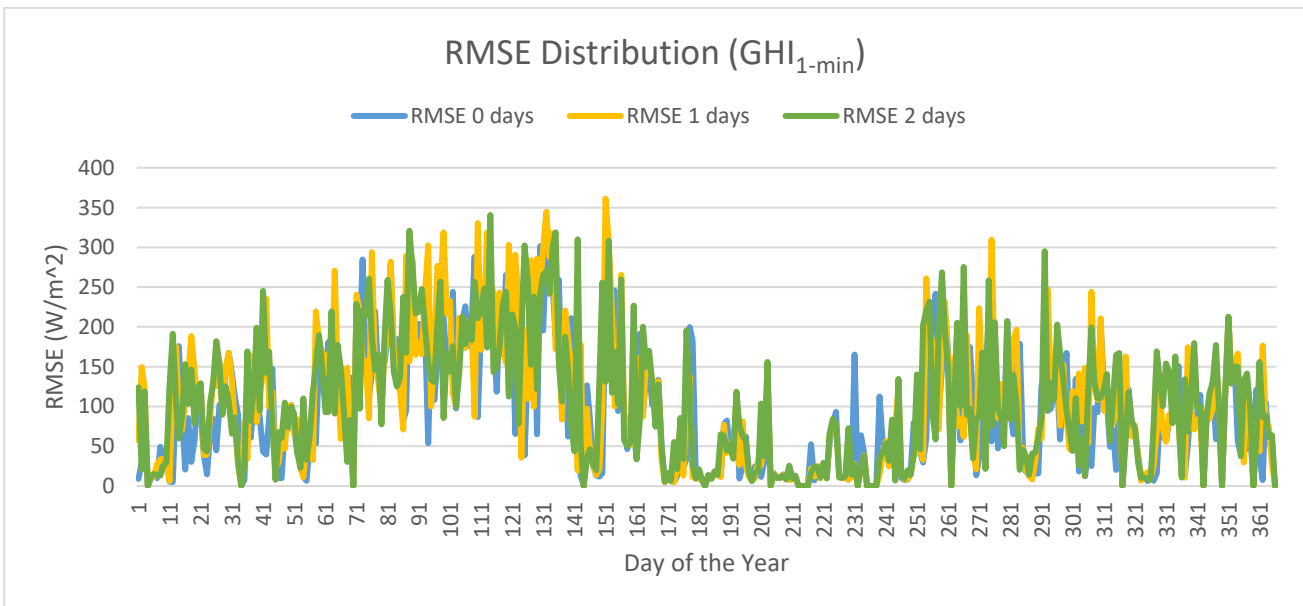


Figure 52- RMSE Seasonal Distribution on 1-min DNI

Figures 51 and 52 show that there is a differentiated performance of the tool depending on the period of the year, which was something we already knew from our distribution analysis in section 6.1.

It can be observed a drastic reduction in error for the middle part of the year belonging to the summer period as well as in the later parts of the winter period and huge spike around day 135 (14th May), the conclusion is that the tool performs clearly at its best for clear-sky or high-nubosity days, but it is in partially cloudy days with irregular cloud formation where it certainly struggles to predict the resulting irradiance. This can be mathematically analyzed through the clear-sky indexes the k_t and k_b .

As well as the time seasonal distribution, it would also be interesting to study the distribution of the forecasted RMSE in regard to the k_t and k_b , the clear sky indexes, which represent both the ration between global irradiance and extraterrestrial irradiance and direct irradiance and clear sky direct irradiance respectively. This means that a high-nubosity will have both indexes near zero and clear-sky days will instead have them near the unit, days with these indexes near 0.5 are partially cloudy days.

This sort of analysis is performed based on the following figures which represent the RMSE distribution in both k_t and k_b .

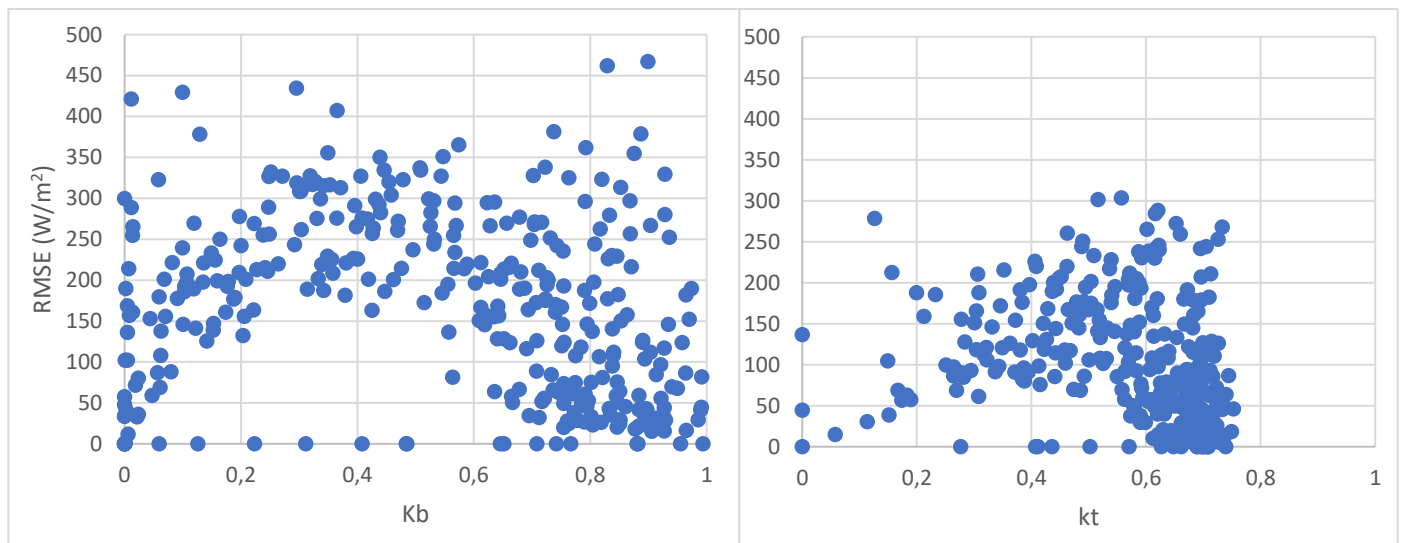


Figure 53-RMSE distribution on K_b and K_t (RMSE from 0 day 1-min series)

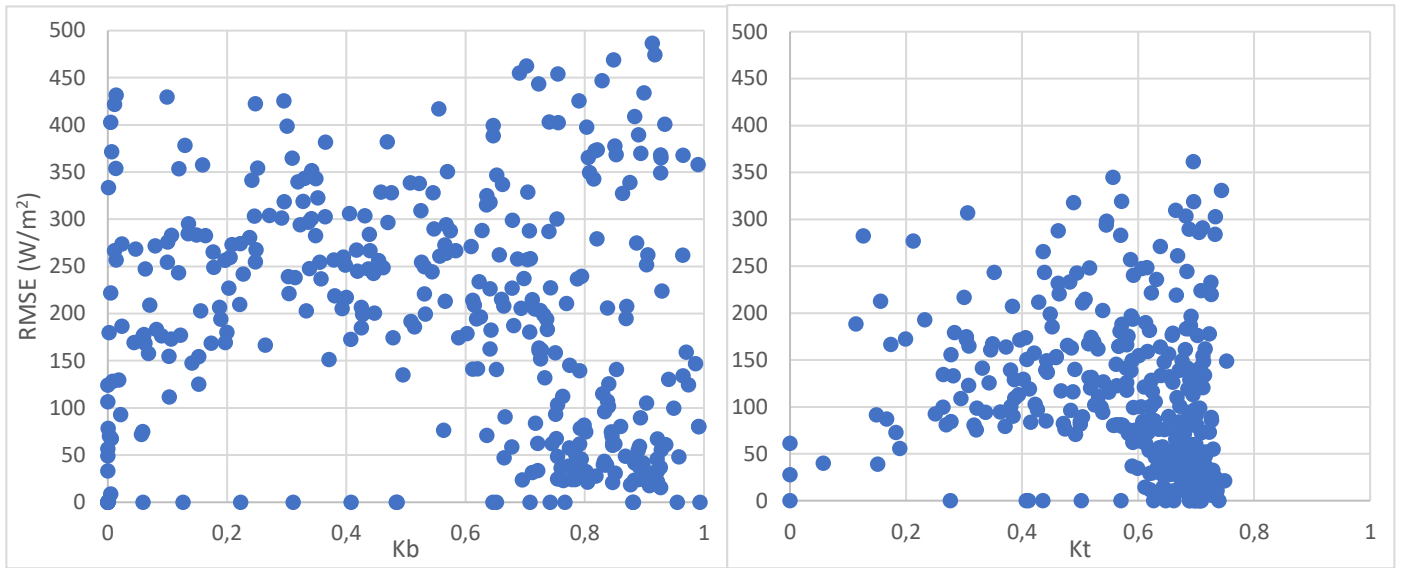


Figure 54-- RMSE distribution on K_b and K_t (RMSE from 1-day 1-min series)

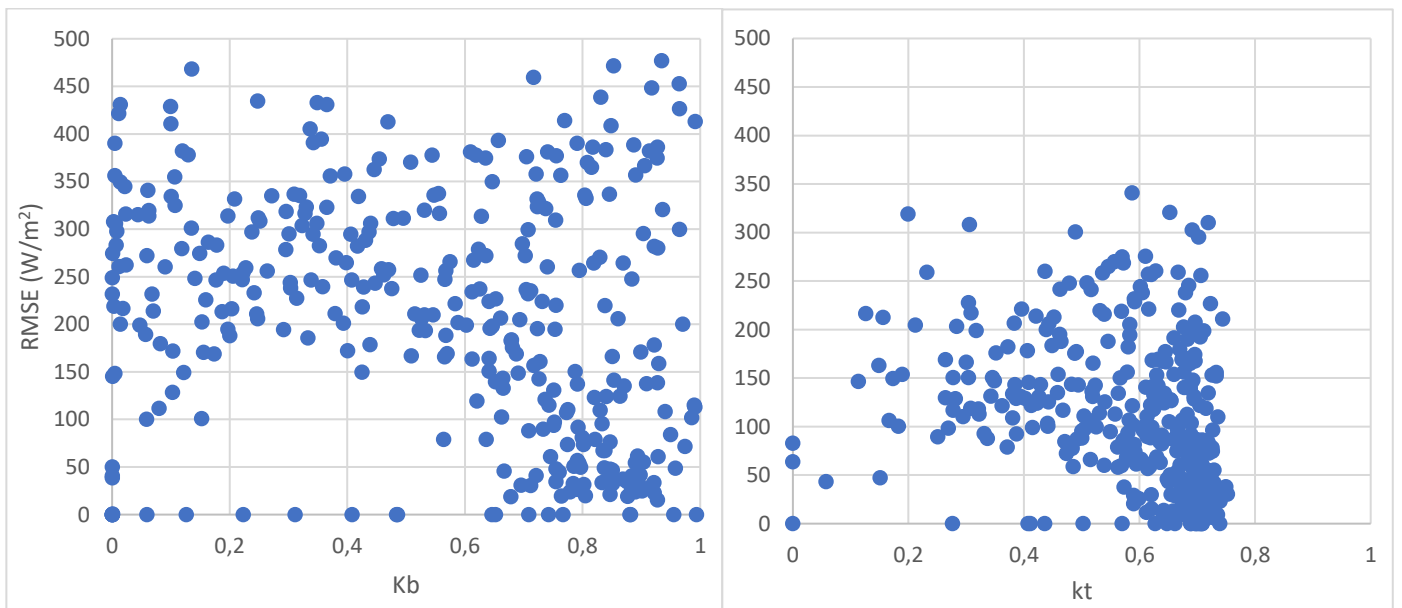


Figure 55-- RMSE distribution on K_b and K_t (RMSE from 2-days 1-min series)

From the three previous figures, we conclude that most of the distribution spreads through the lower right area of the graph, which is especially notorious when working with K_t (GHI distributions).

Overall values for both K_t and K_b are well above 0.5 which is clearly due to the meteorological conditions of the site, but the fact however that the more we turn to the left the lower the values are on the x axis means that lower error is given when working in high clear-sky index, what happens when the real meteorological conditions resemble clear-sky patterns.

When performing this distribution for 1-hour and 1-day resolutions and comparing between them, we observed how for the same value of the index, RMSE tends to be lower for series holding daily resolutions, then hourly and finally minute resolutions with the highest error on average.

But what is also surprising is the fact that it feels like the tool is able to resemble the observed series in a more precise way when forecasting GHI; as it may be observed in the figures, GHI forecasts are less affected by medium indexes, even though the average K_t is lower than the K_b .

Some references for the irradiance RMSE skill score could be found in Morf [16], who additionally referred to Wang et al. [6] and Coimbra [14].

He analyzed hourly resolution GHI forecasted series for 4 varied methodologies and the results figure on the table above.

We observe how its results are in the line of what we could previously observe on our skill score assessment on GHI hourly, with results for the skill score revolving around 0.7 to 0.8.

Skill Score Morf [16]	Lower Threshold	Upper Threshold	Average
Method 1	0.849	0.87	0.86
Method 2	0.78	0.80	0.79
Method 3	0.66	0.69	0.67
Method 4	-0.041	0.016	-0.013

Table 24- Results of Morf [16] on Skill Score over GHI hourly series

The conclusions from this point are clear: more research is yet to be done in order to ensure that skill score is an appropriate tool for cross-work assessment and, while it can initially point to some sort of convergency especially comparing the hourly resolutions, the fact that there is not a great number of tools found in literature which could forecast irradiance with such as high resolution as 1-min, which makes us struggle to validate the availability and suitability of skill score as an approach for high-resolution synthetic series validation.

Specially the *Marquez and Coimbra* [10] for clear-sky indexes given by expression 10 is under the scope since it gives a ratio between the uncertainty and the variability of the series, this as proven by the data in the Annex II can be of use when assessing hourly resolutions but when it comes to assessing 1-min resolution series, the fact that the uncertainty (expressed as the difference to observed data) is at some points orders of magnitude ahead of the variability (expressed as the mean variation between consecutive-steps forecasts), results in utterly low negative values which hinder a proper comparison.

The former skill score analysis mainly relates to the uncertainty determination through RMSE and provides us a way of comparing forecasts which could hold different variability and uncertainty conditions. Although, no apparent difference for these concepts was clearly revealed to have an impact on RMSE and the difference in distance to the forecasted day had no-proven lost in accuracy, or at least this could not be determined through these skill scores, since the assessment revealed that they are similar in terms of error and are always more heavily affected by uncertainty (distance to the observed) than by variability (distance between steps), which is intuitive given the unusual high-resolution of the series, but still has its role when downscaling the resolution.

All that given, RMSE energy approach proved to be a successful methodology and the results are neat: our tool is perfectly able of delivering quality high-resolution forecast and the deviations are on the line of what could be expected according to our literature research, the tool proves itself to be particularly good at high clear sky index (conditions given at near clear-sky conditions) or conditions of low variability which does not necessarily imply low nubosity but a constant variation of irradiance. Yet some results given on the previous sections point that some sort of data-treatment out of these conditions will unquestionably lead to the improve of its accuracy.

8. Conclusions and Future Work

The analysis of the results leads us to the conclusions. The studied tool is able to provide quality forecasts which resemble the trends observed in reality through site measurements. It is interesting how no clear distinction can be done amongst the accuracy of predictions with dissimilar proximities to the forecasted as this does not reveal to have any measurable effect on how the forecast is able to detect trends, with the forecast been which were called 2 days ahead having similar or even higher resemblance than their same-day equivalent, with no distinguishable pattern or reason for this.

As seen on the results discussion, the mean error is on the line of what could be expected according to researched literature, however the fact that it provides data with an unusual high resolution, which is actually one of its biggest strength in terms of utility to the user and self-differentiation to other alternatives, does not seem to be of advantage when speaking of overall quality as some single-point deviations reduce the overall performance indicators, which can be seen on the distribution approach section, were it was observed that the values or higher-irradiance values seem to lean towards some overestimation. This could although be compensated through hourly averaging the forecasted data, as downsizing the resolution proved to dilute individual deviation to some extent.

The followed methodology was proven to be suitable for the case study and both energy and distribution approaches fed our investigation with a large quantity of diversified indexes which tackle the study of the series variability with varied perspectives that complement themselves for obtaining the conclusions. Yet the suitability of the skill score in the energy approach as an accepted cross-work indicator of error is to be proven and a consensus on its applicability is to be driven as the current lack of validated information drastically hinders the obtention of bottom-line conclusions.

RMSE and Kolmogorov-Smirnov analysis on a series of variability indicators proved on the other hand to be the most appropriate methodologies of the available and little is to be said for such extended and widely reviewed approaches.

They suggested that albeit the overall performance of the tool is satisfactory, it struggles at some high-variability unstable periods of time, which could be detected through the previous techniques. A detection and later specific handling of the data would improve the final product of our tool and is thus suggested.

As for the future work, we proved in the discussion section (section 7) how the error of the tool is in the line of what could be expected according to the reviewed sources which shared their estimations on this parameter. In fact, it is surprising how the results of HRForecast resemble the RMSE of different researchers, whose models and forecasting techniques were largely more complex.

There is nonetheless work to be done in order to improve the overall performance of the tool; Judging by the steps for producing the forecast described in subsection 4.3, there are actually 3 different potential error inducers in the progress, these are: the clear-sky irradiance calculation, the downscaling to 1-min resolution and the nubosity index import and further cloud attenuation.

The first two had been thoroughly tested by the GTER researchers and little to no suggestion for improvement could, as for this thesis, be pointed. The scope of improvement must on the other hand lie within the last potential error inducer, that is the import of the nubosity index and the cloud attenuation that follows.

Importing the nubosity indexes from the already reviewed and validated source (see Aparicio [5]) hides no larger pitfall but is in how we translate this information to valuable for the forecast where the first constraints appear.

For instance, a nubosity index is given in the form of a percentual value which indicates the cloud coverage over an already defined area, but this does not necessarily provide us with valuable information on how much the irradiance reaches the specific site of study of the hereby tool.

Moreover, no information about how a cloud structure could mitigate the solar irradiance impinging on the study emplacement is given through the nubosity index. Some acceptance can be given to the hypothesis that an enhanced nubosity index will lead to a higher attenuation of irradiance through its journey across the atmosphere, notwithstanding, it is known that not all cloud structures cross the skies at different heights, those doing so at upper layers will hence have a lower inner pressure which for a gaseous body such as a cloud means that it has a reduced density, resulting in lower attenuation of solar irradiance.

The nubosity index import and the cloud attenuation steps that are currently being applied do not take any consideration onto this and therein lies the rub. Thus, research on how this effect could be automatically analyzed and handled by the tool in order to estimate more efficiently the irradiance mitigation is heavily suggested.

9. References

1. Akarslan, E., Hocaoglu, F. O., & Edizkan, R. (2018). Novel short term solar irradiance forecasting models. *Renewable Energy*, 123, 58-66.
2. Dong, Z., Yang, D., Reindl, T., & Walsh, W. M. (2013). Short-term solar irradiance forecasting using exponential smoothing state space model. *Energy*, 55, 1104-1113.
3. M. Schroedter-Homscheidt (2019), *Solar Radition forecasting and Nowcasting*. German Aerospace Center (DLR), Weßling (Germany), <https://www.solarpaces.org/solar-radiation-forecasting-and-nowcasting-h>.
4. Sengupta, M., Habte, A., Gueymard, C., Wilbert, S., & Renné, D. (2017). Best practices handbook for the collection and use of solar resource data for solar energy applications (No. NREL/TP-5D00-68886). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
5. Elena Aparicio (2013), *Metodología para predicción de radiación directa normal a corto plazo a partir de estimaciones de nubosidad*. Departamento de Ingeniería Energética, Universidad de Sevilla, Sevilla (Spain). Master thesis work.
6. Marquez, R., Pedro, H. T., & Coimbra, C. F. (2013). Hybrid solar forecasting method uses satellite imaging and ground telemetry as inputs to ANNs. *Solar Energy*, 92, 176-188.
7. Chow, C. W., Urquhart, B., Lave, M., Dominguez, A., Kleissl, J., Shields, J., & Washom, B. (2011). Intra-hour forecasting with a total sky imager at the UC San Diego solar energy testbed. *Solar Energy*, 85(11).
8. Yang, D., Alessandrini, S., Antonanzas, J., Antonanzas-Torres, F., Badescu, V., Beyer, H. G., ... & Zhang, J. (2020). Verification of deterministic solar forecasts. *Solar Energy*, 210, 20-37.
9. Frimane, A. and Bright, J. M. (2021), “Validation of synthetic solar irradiance data,” in Bright, J. M. (ed.), *Synthetic Solar Irradiance: Modeling Solar Data*, Melville, New York: AIP Publishing, pp. 4-1–4-44. ISBN: 978-0-7354-2182-0.
10. Marquez, R., & Coimbra, C. F. (2011, January). *A novel metric for evaluation of solar forecasting models*. In *Energy Sustainability* (Vol. 54686, pp. 1459-1467).
11. Blaga, R., & Paulescu, M. (2018). Quantifiers for the solar irradiance variability: A new perspective. *Solar Energy*, 174, 606-616.
12. Schillings, C., Meyer, R., & Mannstein, H. (2004). Validation of a method for deriving high resolution direct normal irradiance from satellite data and application for the Arabian Peninsula. *Solar Energy*, 76(4), 485-497.
13. Renno, C., Petito, F., & Gatto, A. (2016). ANN model for predicting the direct normal irradiance and the global radiation for a solar application to a residential building. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1298-1316.
14. Khatib, T., Mohamed, A., Sopian, K., & Mahmoud, M. (2012). Solar energy prediction for Malaysia using artificial neural networks. *International Journal of Photoenergy*.
15. Van Westrhenen, Wang, P., R., Meirink, J. F., van der Veen, S., & Knap, W. (2019). Surface solar radiation forecasts by advecting cloud physical properties derived from Meteosat Second Generation observations. *Solar Energy*, 177, 47-58.
16. Morf, H. (2021). A validation frame for deterministic solar irradiance forecasts. *Renewable Energy*, 180, 1210-1221.

10. Annex

10.1. Skill Score for RMSE (1-min DNI)

RMSE _{0d} (W/m ²)	RMSE _{1d} (W/m ²)	RMSE _{2d} (W/m ²)	S _{0d}	S _{1d}	S _{2d}	S ₀₁	S ₀₂	S ₁₂
15,09	262,21	366,73	-2,94	-38,77	-22,49	0,94	0,96	0,29
123,79	336,66	102,66	-26,90	-73,93	-32,11	0,63	-0,21	-2,28
254,50	431,57	430,69	-59,43	-93,87	-33,35	0,41	0,41	0,00
					-14,29			
54,13	41,05	52,71	-9,77	-6,36	-25,39	-0,32	-0,03	0,22
51,01	60,21	76,30	-8,47	-8,01	-17,16	0,15	0,33	0,21
69,50	130,20	108,32	-12,18	-15,43	-15,83	0,47	0,36	-0,20
189,89	124,30	71,66	-15,09	-29,58	-12,12	-0,53	-1,65	-0,73
107,61	144,98	110,09	-26,35	-33,47	-32,20	0,26	0,02	-0,32
119,79	93,24	93,83	-5,35	-3,34	-5,97	-0,28	-0,28	0,01
81,69	80,38	412,86	-7,59	-7,37	-12,04	-0,02	0,80	0,81
16,23	380,52	469,01	-1,17	-30,72	-11,65	0,96	0,97	0,19
295,26	324,93	272,00	-18,07	-18,30	-8,45	0,09	-0,09	-0,19
225,76	217,06	172,08	-10,87	-10,66	-7,49	-0,04	-0,31	-0,26
201,75	202,65	185,57	-6,88	-6,72	-5,28	0,00	-0,09	-0,09
106,29	342,41	364,95	-6,74	-19,56	-8,90	0,69	0,71	0,06
219,97	166,35	256,02	-12,04	-8,98	-8,25	-0,32	0,14	0,35
102,16	333,35	274,49	-1975,22	-4564,63	-2246,31	0,69	0,63	-0,21
184,23	327,92	209,80	-4,23	-7,38	-3,23	0,44	0,12	-0,56
326,45	254,57	205,63	-9,07	-8,18	-3,83	-0,28	-0,59	-0,24
160,69	168,65	168,84	-10,15	-12,88	-9,83	0,05	0,05	0,00
1,23	1,28	0,59	-82,79	-122,97	-1878,72	0,04	-1,10	-1,18
0,32	78,26	145,22	-3,19	-1462,07	-2188,07	1,00	1,00	0,46
41,22	70,15	218,81	-48,35	-55,95	-120,89	0,41	0,81	0,68
80,15	273,83	262,19	-3,99	-11,34	-6,93	0,71	0,69	-0,04
150,51	270,96	380,97	-5,86	-10,92	-6,08	0,44	0,60	0,29
185,87	154,51	128,37	-12,64	-11,92	-12,09	-0,20	-0,45	-0,20
136,31	8,70	148,11	-82,67	-3,20	-87,05	-14,67	0,08	0,94
138,92	125,01	100,69	-12,58	-10,56	-13,32	-0,11	-0,38	-0,24

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

178,68	193,97	253,66	-7,44	-8,51	-6,69	0,08	0,30	0,24
163,60	209,61	246,82	-6,76	-9,56	-6,67	0,22	0,34	0,15
297,08	220,74	209,88	-12,31	-8,88	-5,78	-0,35	-0,42	-0,05
329,42	55,46	60,87	-27,49	-3,63	-11,37	-4,94	-4,41	0,09
					-18,76			
19,90	326,17	118,73	-8,73	-45,40	-20,93	0,94	0,83	-1,75
325,20	112,20	356,34	-20,27	-7,30	-9,76	-1,90	0,09	0,69
128,45	317,94	224,11	-7,73	-21,30	-10,66	0,60	0,43	-0,42
197,18	172,93	354,95	-7,32	-6,25	-5,74	-0,14	0,44	0,51
152,81	169,02	314,99	-10,84	-11,48	-12,23	0,10	0,51	0,46
256,80	206,45	218,19	-5,70	-4,59	-3,40	-0,24	-0,18	0,05
145,74	400,74	476,98	-13,93	-38,00	-14,98	0,64	0,69	0,16
160,65	402,99	381,01	-13,11	-27,85	-11,41	0,60	0,58	-0,06
168,55	221,85	390,21	-65,17	-76,78	-55,48	0,24	0,57	0,43
304,01	328,60	258,09	-9,27	-11,86	-5,01	0,07	-0,18	-0,27
75,60	62,43	47,83	-9,05	-8,73	-15,27	-0,21	-0,58	-0,31
45,33	80,12	205,93	-3,63	-4,63	-7,37	0,43	0,78	0,61
46,81	236,56	150,23	-14,70	-44,81	-31,82	0,80	0,69	-0,57
251,57	198,22	224,07	-19,85	-15,82	-13,78	-0,27	-0,12	0,12
214,12	266,57	221,62	-5,80	-6,77	-4,13	0,20	0,03	-0,20
200,64	248,68	251,70	-4,38	-5,54	-3,70	0,19	0,20	0,01
140,55	106,95	219,74	-3,58	-2,52	-3,86	-0,31	0,36	0,51
125,80	258,02	88,03	-7,67	-14,67	-9,18	0,51	-0,43	-1,93
124,15	55,17	54,48	-8,30	-5,77	-9,19	-1,25	-1,28	-0,01
40,70	39,48	261,46	-8,78	-10,54	-10,39	-0,03	0,84	0,85
29,40	146,72	101,89	-9,22	-17,18	-15,27	0,80	0,71	-0,44
214,20	213,01	247,21	-28,05	-28,05	-20,25	-0,01	0,13	0,14
252,19	61,00	320,55	-19,14	-5,13	-13,23	-3,13	0,21	0,81
126,54	389,33	356,77	-10,81	-25,72	-12,06	0,67	0,65	-0,09
266,36	287,84	313,55	-12,66	-26,05	-8,20	0,07	0,15	0,08
201,04	157,49	231,54	-13,00	-19,77	-10,71	-0,28	0,13	0,32
155,82	208,81	213,89	-6,43	-8,38	-6,71	0,25	0,27	0,02
350,13	283,99	178,39	-8,08	-6,59	-3,85	-0,23	-0,96	-0,59

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

219,04	247,58	246,41	-5,84	-6,45	-4,71	0,12	0,11	0,00
201,15	399,23	198,04	-3,37	-7,17	-2,74	0,50	-0,02	-1,02
187,33	351,46	390,63	-8,09	-12,82	-6,63	0,47	0,52	0,10
175,28	160,83	323,39	-3,88	-3,32	-3,47	-0,09	0,46	0,50
172,46	287,46	231,94	-6,38	-12,24	-6,60	0,40	0,26	-0,24
117,07	367,87	138,59	-0,01	-0,01	0,96	0,68	0,16	-1,65
299,67	123,95	248,93	-6,47	-2,87	-3,00	-1,42	-0,20	0,50
337,08	338,58	370,29	-3,77	-3,17	-1,29	0,00	0,09	0,09
299,33	337,78	193,55	-9,74	-13,07	-5,80	0,11	-0,55	-0,75
350,79	289,73	335,46	-21,62	-17,73	-11,81	-0,21	-0,05	0,14
225,19	254,22	394,63	-14,14	-16,18	-12,12	0,11	0,43	0,36
243,90	249,62	319,65	-11,33	-12,38	-8,35	0,02	0,24	0,22
194,77	416,91	337,40	-4,17	-9,94	-3,78	0,53	0,42	-0,24
249,85	282,64	286,06	-8,60	-9,46	-6,37	0,12	0,13	0,01
277,57	169,18	194,68	-18,30	-10,38	-12,49	-0,64	-0,43	0,13
177,59	176,40	260,28	-18,40	-19,95	-21,70	-0,01	0,32	0,32
137,59	247,38	319,52	-10,14	-22,73	-15,65	0,44	0,57	0,23
207,38	282,78	324,99	-5,58	-8,31	-5,00	0,27	0,36	0,13
288,52	266,40	260,77	-26,94	-24,46	-18,77	-0,08	-0,11	-0,02
317,01	293,96	303,54	-5,42	-4,86	-3,03	-0,08	-0,04	0,03
316,39	322,49	282,47	-12,38	-11,88	-7,10	0,02	-0,12	-0,14
256,18	267,65	311,65	-5,31	-7,86	-3,96	0,04	0,18	0,14
270,86	204,80	459,52	-20,13	-13,90	-12,51	-0,32	0,41	0,55
208,32	388,31	349,68	-2,57	-5,80	-2,38	0,46	0,40	-0,11
326,90	244,13	377,63	-6,61	-5,23	-3,80	-0,34	0,13	0,35
229,08	282,43	306,17	-7,38	-8,84	-6,14	0,19	0,25	0,08
107,96	168,58	313,77	-5,35	-13,77	-10,46	0,36	0,66	0,46
298,88	303,46	288,32	-4,58	-4,57	-2,40	0,02	-0,04	-0,05
299,39	296,80	405,19	-7,04	-6,81	-4,43	-0,01	0,26	0,27
434,72	425,44	278,55	-7,73	-7,00	-2,81	-0,02	-0,56	-0,53
84,53	486,35	382,21	-5,32	-20,19	-7,67	0,83	0,78	-0,27
224,52	202,82	170,62	-6,58	-5,78	-5,22	-0,11	-0,32	-0,19

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

255,02	280,54	296,94	-5,78	-7,31	-4,30	0,09	0,14	0,06
214,01	371,40	283,09	-25,91	-139,61	-23,25	0,42	0,24	-0,31
282,60	266,61	306,11	-4,73	-4,33	-2,87	-0,06	0,08	0,13
268,98	274,11	253,84	-9,82	-10,87	-7,00	0,02	-0,06	-0,08
160,74	353,71	200,01	-20,14	-37,23	-22,06	0,55	0,20	-0,77
261,81	221,18	237,99	-5,66	-4,85	-4,39	-0,18	-0,10	0,07
197,51	284,66	301,11	-6,96	-9,13	-6,59	0,31	0,34	0,05
226,53	205,22	201,16	-4,33	-4,01	-3,80	-0,10	-0,13	-0,02
243,18	301,27	194,36	-3,71	-5,27	-3,19	0,19	-0,25	-0,55
275,32	343,16	323,26	-5,31	-6,90	-3,66	0,20	0,15	-0,06
233,05	283,12	274,24	-5,16	-5,77	-4,12	0,18	0,15	-0,03
221,52	182,96	179,43	-6,82	-7,15	-6,75	-0,21	-0,23	-0,02
125,42	147,42	248,13	-3,79	-4,97	-6,19	0,15	0,49	0,41
322,84	174,38	311,07	-8,41	-4,04	-5,09	-0,85	-0,04	0,44
182,16	468,63	408,69	-4,38	-11,49	-4,60	0,61	0,55	-0,15
220,91	295,08	468,09	-4,03	-5,33	-3,43	0,25	0,53	0,37
327,52	339,51	335,27	-2,21	-2,33	-0,85	0,04	0,02	-0,01
338,05	443,28	331,53	-7,41	-9,51	-3,90	0,24	-0,02	-0,34
291,19	259,79	357,89	-11,98	-10,27	-8,21	-0,12	0,19	0,27
155,50	259,37	250,57	-4,82	-9,21	-7,01	0,40	0,38	-0,04
87,95	271,60	111,53	-4,85	-15,97	-11,47	0,68	0,21	-1,44
179,61	176,36	271,97	-0,30	-0,27	0,09	-0,02	0,34	0,35
189,47	243,20	279,38	-4,07	-5,26	-4,42	0,22	0,32	0,13
320,00	256,19	373,58	-3,61	-2,82	-1,86	-0,25	0,14	0,31
193,01	453,84	219,76	-3,36	-8,84	-3,56	0,57	0,12	-1,07
315,35	300,34	294,50	-4,54	-4,21	-2,66	-0,05	-0,07	-0,02
187,32	425,30	390,18	-3,58	-7,65	-3,37	0,56	0,52	-0,09
467,02	434,01	170,90	-8,13	-7,34	-2,86	-0,08	-1,73	-1,54
381,25	183,20	321,40	-21,16	-12,44	-11,47	-1,08	-0,19	0,43
155,42	315,07	374,71	-12,31	-20,52	-13,03	0,51	0,59	0,16
269,57	262,05	393,18	-5,08	-5,45	-3,52	-0,03	0,31	0,33
461,80	446,79	270,47	-20,69	-19,37	-9,20	-0,03	-0,71	-0,65
334,32	242,47	362,53	-10,05	-6,85	-5,93	-0,38	0,08	0,33

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

137,15	397,49	335,59	-3,53	-10,51	-5,33	0,65	0,59	-0,18
327,12	303,99	334,87	-6,19	-6,00	-3,72	-0,08	0,02	0,09
355,59	343,06	432,68	-6,66	-6,18	-3,84	-0,04	0,18	0,21
316,10	364,79	336,72	-4,41	-6,00	-2,72	0,13	0,06	-0,08
215,26	341,09	232,96	-5,07	-8,44	-4,73	0,37	0,08	-0,46
331,98	353,97	308,25	-3,37	-3,49	-1,71	0,06	-0,08	-0,15
265,31	256,79	349,36	-33,87	-30,60	-26,71	-0,03	0,24	0,26
365,22	287,63	265,82	-7,72	-6,38	-4,40	-0,27	-0,37	-0,08
219,58	174,11	201,75	-5,30	-4,19	-5,20	-0,26	-0,09	0,14
308,16	398,62	295,08	-11,36	-15,65	-7,81	0,23	-0,04	-0,35
170,21	286,98	260,23	-17,76	-26,54	-19,44	0,41	0,35	-0,10
323,02	279,01	123,06	-7,10	-6,15	-4,33	-0,16	-1,62	-1,27
95,24	205,92	67,29	-4,88	-9,91	-10,05	0,54	-0,42	-2,06
226,08	39,64	438,42	-8,28	-1,43	-6,84	-4,70	0,48	0,91
24,83	377,67	165,93	-1,62	-18,80	-9,84	0,93	0,85	-1,28
					0,72			
241,95	227,10	115,03	-18,04	-18,35	-16,11	-0,07	-1,10	-0,97
171,70	81,50	81,13	-12,01	-4,23	-12,83	-1,11	-1,12	0,00
20,42	20,99	21,24	-4,48	-6,64	-26,70	0,03	0,04	0,01
60,55	61,52	56,67	-28,85	-37,17	-55,04	0,02	-0,07	-0,09
26,19	27,62	264,16	-17,70	-12,60	-65,01	0,05	0,90	0,90
60,97	210,60	414,07	-36,43	-82,26	-80,80	0,71	0,85	0,49
327,77	462,23	271,95	-18,87	-27,05	-12,53	0,29	-0,21	-0,70
269,61	353,38	382,02	-12,34	-15,95	-10,19	0,24	0,29	0,07
271,87	296,28	257,18	-5,54	-6,21	-4,31	0,08	-0,06	-0,15
275,90	172,43	246,38	-7,28	-4,33	-5,71	-0,60	-0,12	0,30
160,02	226,03	164,16	-2,39	-3,43	-3,18	0,29	0,03	-0,38
289,21	422,17	434,47	-5,67	-8,05	-3,77	0,31	0,33	0,03
167,10	158,16	130,87	-4,95	-4,65	-4,96	-0,06	-0,28	-0,21
176,79	163,37	195,36	-11,67	-8,84	-10,54	-0,08	0,10	0,16
177,17	114,80	109,52	-4,05	-2,46	-3,95	-0,54	-0,62	-0,05
108,16	101,74	383,52	-1,73	-1,25	-3,84	-0,06	0,72	0,73
81,04	373,30	78,82	-4,13	-13,85	-7,73	0,78	-0,03	-3,74

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

276,81	226,82	182,58	-6,74	-4,89	-4,78	-0,22	-0,52	-0,24
203,02	202,96	328,33	-14,49	-14,61	-13,94	0,00	0,38	0,38
407,28	381,68	430,94	-5,96	-5,47	-2,82	-0,07	0,05	0,11
211,96	214,51	235,21	-3,80	-3,95	-3,97	0,01	0,10	0,09
146,23	239,41	256,73	-0,85	-1,94	-1,19	0,39	0,43	0,07
216,26	207,47	135,28	-2,38	-2,31	-1,82	-0,04	-0,60	-0,53
268,01	257,22	236,39	-5,04	-4,52	-3,50	-0,04	-0,13	-0,09
96,47	45,54	33,61	-0,64	-0,15	-0,98	-1,12	-1,87	-0,35
21,90	21,87	22,87	-1,40	-1,31	-6,90	0,00	0,04	0,04
37,67	37,25	36,89	-2,80	-2,57	-9,58	-0,01	-0,02	-0,01
23,79	23,78	23,77	0,14	0,26	-0,25	0,00	0,00	0,00
17,44	17,32	137,36	-0,40	-0,27	-3,00	-0,01	0,87	0,87
58,59	74,39	36,45	-17,05	-16,60	-37,01	0,21	-0,61	-1,04
156,31	182,46	195,72	-7,96	-9,63	-10,04	0,14	0,20	0,07
66,64	58,46	18,66	-34,05	-33,33	-89,64	-0,14	-2,57	-2,13
88,77	180,35	299,17	-2,79	-5,97	-7,70	0,51	0,70	0,40
282,56	254,35	206,16	-0,99	-0,95	-0,28	-0,11	-0,37	-0,23
296,90	48,75	37,35	-1,77	-0,07	-0,76	-5,09	-6,95	-0,31
18,19	18,38	19,05	-0,41	-0,42	-2,58	0,01	0,05	0,04
43,12	43,35	33,54	-0,95	-0,97	-4,84	0,01	-0,29	-0,29
74,80	57,65	73,63	-8,40	-6,36	-19,22	-0,30	-0,02	0,22
					-2,92			
41,36	41,45	41,57	-0,17	-0,17	0,07	0,00	0,01	0,00
15,64	15,47	15,32	0,48	0,38	0,91	-0,01	-0,02	-0,01
42,00	41,41	40,78	-14,59	-13,85	-40,35	-0,01	-0,03	-0,02
75,01	74,44	73,75	-38,59	-37,64	-69,74	-0,01	-0,02	-0,01
38,44	38,18	107,24	-17,31	-17,08	-72,28	-0,01	0,64	0,64
263,52	198,87	238,93	-22,45	-16,36	-17,28	-0,33	-0,10	0,17
166,81	213,91	233,90	-12,85	-15,92	-15,23	0,22	0,29	0,09
163,87	205,58	204,91	-7,57	-10,88	-8,72	0,20	0,20	0,00
168,13	162,38	150,69	-20,60	-20,60	-22,17	-0,04	-0,12	-0,08
234,01	263,95	256,38	-6,90	-7,95	-5,89	0,11	0,09	-0,03
51,57	83,52	156,60	-32,57	-44,78	-89,52	0,38	0,67	0,47

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

65,61	193,95	121,09	-11,00	-28,41	-30,12	0,66	0,46	-0,60
145,79	67,25	97,00	-19,84	-10,82	-27,87	-1,17	-0,50	0,31
20,10	24,67	34,58	-8,83	-11,33	-70,75	0,19	0,42	0,29
28,58	23,86	23,91	-5,12	-5,23	-34,10	-0,20	-0,20	0,00
27,60	36,12	44,56	-9,28	-8,56	-38,37	0,24	0,38	0,19
55,69	33,29	41,03	-23,69	-16,33	-78,34	-0,67	-0,36	0,19
57,76	47,02	132,67	-35,14	-33,24	-93,34	-0,23	0,56	0,65
50,40	90,32	45,57	-10,90	-14,43	-33,78	0,44	-0,11	-0,98
186,28	200,54	243,14	-5,04	-5,52	-5,97	0,07	0,23	0,18
					-13,90			
32,14	31,41	30,59	-11,04	-10,61	-58,38	-0,02	-0,05	-0,03
49,41	50,08	50,80	-9,08	-9,33	-30,81	0,01	0,03	0,01
33,30	32,50	31,70	-13,54	-12,97	-54,24	-0,02	-0,05	-0,03
62,88	61,88	60,90	-13,92	-12,17	-35,18	-0,02	-0,03	-0,02
49,12	48,50	47,87	-15,23	-14,63	-53,61	-0,01	-0,03	-0,01
45,28	45,66	53,89	-7,29	-7,50	-26,32	0,01	0,16	0,15
52,70	32,35	49,79	-15,28	-9,26	-34,75	-0,63	-0,06	0,35
47,81	48,89	38,49	-15,16	-16,14	-54,81	0,02	-0,24	-0,27
					-33,60			
					-48,87			
					-7,75			
118,31	23,97	32,49	-20,72	-8,41	-36,24	-3,94	-2,64	0,26
35,11	39,44	67,14	-8,59	-9,95	-46,62	0,11	0,48	0,41
128,48	140,76	139,47	-53,65	-59,18	-74,34	0,09	0,08	-0,01
34,56	23,47	30,81	-14,91	-12,86	-80,76	-0,47	-0,12	0,24
63,89	70,64	78,99	-14,38	-18,56	-41,99	0,10	0,19	0,11
81,57	76,02	78,91	-39,31	-37,10	-81,82	-0,07	-0,03	0,04
163,07	184,88	149,52	-10,09	-11,81	-12,61	0,12	-0,09	-0,24
196,38	178,50	199,18	-8,73	-8,00	-8,88	-0,10	0,01	0,10
200,21	161,10	160,76	-5,71	-3,69	-5,53	-0,24	-0,25	0,00
23,06	21,36	19,74	-6,30	-5,43	-38,06	-0,08	-0,17	-0,08
29,17	30,82	32,46	-2,94	-3,44	-12,66	0,05	0,10	0,05

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

23,51	23,71	24,81	-8,91	-9,30	-35,00	0,01	0,05	0,04
31,80	32,65	178,15	-7,30	-8,24	-26,49	0,03	0,82	0,82
43,07	24,97	41,58	-11,76	-4,85	-25,99	-0,72	-0,04	0,40
279,25	95,92	95,33	-18,97	-6,55	-13,85	-1,91	-1,93	-0,01
					-12,49			
123,68	47,96	48,78	-7,10	-3,55	-9,64	-1,58	-1,54	0,02
57,35	56,62	50,08	-4,63	-3,97	-11,19	-0,01	-0,14	-0,13
					-9,30			
					-17,64			
					-24,41			
266,65	105,01	55,24	-21,83	-10,17	-16,52	-1,54	-3,83	-0,90
194,48	151,74	142,38	-38,02	-29,90	-33,16	-0,28	-0,37	-0,07
150,38	140,63	141,13	-6,51	-5,73	-7,51	-0,07	-0,07	0,00
60,35	44,70	55,59	-4,96	-6,08	-14,58	-0,35	-0,09	0,20
152,28	158,93	199,97	-16,10	-15,96	-14,64	0,04	0,24	0,21
72,13	161,06	29,49	-9,66	-18,52	-18,36	0,55	-1,45	-4,46
260,92	382,03	412,66	-5,15	-8,57	-4,11	0,32	0,37	0,07
111,78	125,53	123,92	-7,57	-8,77	-13,13	0,11	0,10	-0,01
21,36	23,16	25,43	-2,52	-2,86	-23,19	0,08	0,16	0,09
31,44	31,20	28,41	-4,33	-3,93	-17,93	-0,01	-0,11	-0,10
64,20	61,55	46,57	-16,96	-13,00	-29,18	-0,04	-0,38	-0,32
229,95	39,42	49,02	-35,37	-5,77	-28,24	-4,83	-3,69	0,20
73,69	103,30	309,38	-4,76	-9,70	-15,06	0,29	0,76	0,67
84,39	131,70	89,84	-7,07	-12,02	-16,07	0,36	0,06	-0,47
55,35	62,23	357,72	-3,55	-3,49	-12,85	0,11	0,85	0,83
123,88	402,38	377,14	-6,52	-22,81	-11,16	0,69	0,67	-0,07
274,58	267,37	282,27	-8,34	-8,07	-5,88	-0,03	0,03	0,05
293,98	294,10	188,45	-15,59	-15,59	-10,67	0,00	-0,56	-0,56
334,51	191,65	166,69	-26,94	-15,60	-15,94	-0,75	-1,01	-0,15
221,11	218,82	269,82	-5,23	-5,21	-4,47	-0,01	0,18	0,19
292,26	247,20	296,92	-10,15	-8,44	-6,42	-0,18	0,02	0,17
176,78	206,45	213,12	-10,29	-9,18	-8,16	0,14	0,17	0,03

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

35,89	186,57	315,67	-1,75	-16,09	-15,05	0,81	0,89	0,41
					-3,85			
181,64	256,55	211,21	-5,83	-8,57	-6,69	0,29	0,14	-0,21
312,80	151,22	355,70	-17,15	-7,80	-10,59	-1,07	0,12	0,57
172,38	185,63	210,88	-10,48	-10,49	-11,65	0,07	0,18	0,12
236,88	134,94	311,33	-11,98	-7,49	-10,18	-0,76	0,24	0,57
266,88	350,50	169,10	-6,57	-8,90	-4,64	0,24	-0,58	-1,07
198,31	248,94	283,10	-12,70	-15,18	-11,65	0,20	0,30	0,12
296,25	139,28	137,03	-24,34	-12,25	-15,74	-1,13	-1,16	-0,02
55,46	67,09	281,71	-4,25	-6,44	-13,80	0,17	0,80	0,76
59,27	408,60	247,54	-5,34	-25,85	-11,14	0,85	0,76	-0,65
243,97	349,22	370,00	-26,44	-38,44	-20,67	0,30	0,34	0,06
354,59	338,92	34,41	-24,97	-23,88	-11,87	-0,05	-9,30	-8,85
320,45	318,76	316,45	-9,85	-10,19	-5,44	-0,01	-0,01	-0,01
116,06	454,72	148,63	-4,45	-16,32	-6,38	0,74	0,22	-2,06
199,15	357,48	225,47	-5,25	-7,74	-3,56	0,44	0,12	-0,59
111,75	251,51	295,34	-4,08	-9,45	-6,01	0,56	0,62	0,15
235,45	300,17	194,85	-5,93	-7,23	-3,71	0,22	-0,21	-0,54
220,49	207,70	143,28	-10,04	-9,00	-6,90	-0,06	-0,54	-0,45
378,73	274,85	388,29	-25,36	-20,27	-12,27	-0,38	0,02	0,29
280,19	364,90	280,14	-15,97	-19,97	-9,12	0,23	0,00	-0,30
197,55	365,46	332,10	-7,38	-11,91	-5,67	0,46	0,41	-0,10
265,69	308,80	251,56	-8,32	-10,00	-5,26	0,14	-0,06	-0,23
361,93	78,09	91,91	-24,61	-7,10	-12,64	-3,63	-2,94	0,15
215,70	214,91	206,37	-14,12	-13,64	-10,01	0,00	-0,05	-0,04
78,96	81,61	102,19	-3,24	-3,36	-4,76	0,03	0,23	0,20
33,57	33,23	40,49	-2,46	-2,80	-7,04	-0,01	0,17	0,18
0,00	0,00	0,00						
44,62	79,78	112,97	-4,86	-6,99	-9,94	0,44	0,60	0,29
29,11	223,93	158,66	-3,42	-22,52	-14,90	0,87	0,82	-0,41
256,70	194,64	264,32	-34,40	-29,42	-22,71	-0,32	0,03	0,26
313,37	368,29	471,39	-20,75	-22,33	-10,57	0,15	0,34	0,22
214,34	327,96	237,31	-12,35	-17,78	-9,02	0,35	0,10	-0,38

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

71,50	129,31	216,63	-14,33	-26,47	-33,94	0,45	0,67	0,40
146,95	154,18	202,46	-2,76	-3,23	-3,67	0,05	0,27	0,24
209,13	256,22	313,91	-6,82	-8,03	-5,08	0,18	0,33	0,18
145,66	194,33	377,62	-2,91	-4,58	-3,71	0,25	0,61	0,49
275,68	302,62	322,89	-7,29	-7,89	-4,37	0,09	0,15	0,06
201,12	273,11	331,49	-5,99	-9,22	-5,18	0,26	0,39	0,18
204,35	196,15	236,92	-8,56	-7,50	-5,98	-0,04	0,14	0,17
157,70	327,46	124,42	-5,47	-10,45	-4,72	0,52	-0,27	-1,63
294,72	233,52	278,80	-11,03	-8,28	-5,76	-0,26	-0,06	0,16
41,46	357,88	114,95	-1,39	-18,77	-8,31	0,88	0,64	-2,11
254,64	272,79	165,59	-10,80	-10,75	-5,87	0,07	-0,54	-0,65
39,44	369,86	36,41	-4,94	-27,40	-12,41	0,89	-0,08	-9,16
152,20	208,77	267,31	-6,22	-8,31	-6,20	0,27	0,43	0,22
20,57	474,12	448,23	-5,29	-49,39	-16,71	0,96	0,95	-0,06
192,39	111,60	171,97	-8,31	-4,92	-7,32	-0,72	-0,12	0,35
141,29	176,91	149,24	-7,07	-9,99	-8,55	0,20	0,05	-0,19
327,11	305,97	294,67	-13,79	-12,21	-6,72	-0,07	-0,11	-0,04
59,17	268,35	198,97	-9,39	-28,32	-18,16	0,78	0,70	-0,35
248,74	236,91	284,34	-5,55	-4,82	-3,20	-0,05	0,13	0,17
189,04	298,70	183,73	-6,66	-10,58	-5,50	0,37	-0,03	-0,63
136,65	260,65	316,54	-4,77	-9,23	-5,28	0,48	0,57	0,18
44,22	349,02	386,07	-4,15	-19,06	-8,37	0,87	0,89	0,10
271,20	328,76	376,04	-29,17	-31,61	-15,57	0,18	0,28	0,13
					-5,29			
132,39	226,84	216,28	-1,04	-2,53	-1,25	0,42	0,39	-0,05
68,98	177,52	340,58	-1,82	-6,25	-5,55	0,61	0,80	0,48
221,28	140,90	163,32	-7,57	-5,06	-5,32	-0,57	-0,35	0,14
189,02	238,16	227,43	-8,10	-10,94	-7,33	0,21	0,17	-0,05
157,15	141,46	119,40	-21,37	-18,89	-19,21	-0,11	-0,32	-0,18
25,11	22,87	19,33	-10,22	-6,46	-40,42	-0,10	-0,30	-0,18
26,66	29,65	26,58	-7,46	-8,57	-27,22	0,10	0,00	-0,12
67,81	99,53	84,12	-5,38	-8,75	-9,21	0,32	0,19	-0,18
40,26	59,16	37,99	-8,34	-11,55	-20,38	0,32	-0,06	-0,56

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

16,56	133,72	299,80	-0,45	-5,32	-4,58	0,88	0,94	0,55
86,48	261,66	452,75	-14,70	-29,04	-16,08	0,67	0,81	0,42
308,72	239,19	243,69	-24,54	-18,99	-11,93	-0,29	-0,27	0,02
86,91	71,88	189,30	-9,26	-7,55	-14,76	-0,21	0,54	0,62
11,70	67,35	305,69	-1,42	-14,63	-32,94	0,83	0,96	0,78
192,50	265,16	246,62	-7,74	-12,41	-6,45	0,27	0,22	-0,08
241,97	180,19	187,79	-13,34	-10,89	-8,64	-0,34	-0,29	0,04
189,57	179,59	307,72	-133,51	-112,54	-106,72	-0,06	0,38	0,42
265,25	251,23	264,57	-9,81	-9,06	-5,44	-0,06	0,00	0,05
103,52	89,47	61,45	-11,66	-8,71	-13,93	-0,16	-0,68	-0,46
32,31	36,76	374,72	-7,55	-9,39	-26,61	0,12	0,91	0,90
213,43	346,58	226,66	-7,40	-12,58	-5,16	0,38	0,06	-0,53
146,09	275,66	334,35	-5,81	-10,77	-6,15	0,47	0,56	0,18
328,75	309,33	431,93	-16,48	-15,09	-6,39	-0,06	0,24	0,28
208,36	236,77	239,52	-13,37	-15,72	-8,79	0,12	0,13	0,01
212,98	241,67	259,37	-5,79	-7,53	-3,96	0,12	0,18	0,07
					-4,04			
322,55	74,81	100,19	-18,90	-5,14	-9,20	-3,31	-2,22	0,25
32,76	92,92	344,73	-4,32	-21,39	-26,77	0,65	0,90	0,73
210,69	303,12	210,70	-6,90	-9,26	-4,68	0,30	0,00	-0,44
262,27	372,55	386,00	-6,29	-8,52	-2,93	0,30	0,32	0,03
239,32	254,19	410,78	-19,59	-22,80	-11,31	0,06	0,42	0,38
					-5,75			
318,76	318,59	318,57	-11,21	-11,25	-4,49	0,00	0,00	0,00
421,41	421,48	421,47	-57,13	-57,25	-20,07	0,00	0,00	0,00
378,08	378,03	378,09	-16,88	-17,01	-6,07	0,00	0,00	0,00
429,37	429,52	428,93	-28,94	-28,97	-10,07	0,00	0,00	0,00
102,01	402,76	356,15	-31,46	-96,83	-36,88	0,75	0,71	-0,13
190,06	257,61	168,92	-8,75	-11,73	-6,77	0,26	-0,13	-0,53
229,03	70,19	336,59	-15,10	-5,41	-9,51	-2,26	0,32	0,79
181,81	367,73	426,58	-13,57	-26,95	-10,90	0,51	0,57	0,14
156,92	128,12	297,50	-48,17	-39,53	-37,40	-0,22	0,47	0,57
					-10,78			

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

249,82	199,23	193,35	-12,68	-11,98	-8,10	-0,25	-0,29	-0,03
102,26	122,32	445,53	-9,96	-10,84	-11,07	0,16	0,77	0,73
35,80	449,64	289,73	-3,55	-41,62	-13,82	0,92	0,88	-0,55
201,17	244,84	334,12	-5,80	-6,54	-4,08	0,18	0,40	0,27
210,17	187,16	175,38	-6,42	-7,26	-3,91	-0,12	-0,20	-0,07
33,85	106,31	231,66	-6,41	-15,75	-15,75	0,68	0,85	0,54

10.2. Skill Score for RMSE (1-hour DNI)

RMSE _{0d} (W/m ²)	RMSE _{1d} (W/m ²)	RMSE _{2d} (W/m ²)	S _{0d}	S _{1d}	S _{2d}	S ₀₁	S ₀₂	S ₁₂
10,22	243,39	354,60	0,84	-1,06	-0,21	0,96	0,97	0,31
108,13	324,00	99,77	-0,07	-2,09	-0,32	0,67	-0,08	-2,25
226,61	439,34	437,61	-11,94	-22,43	-6,85	0,48	0,48	0,00
					0,07			
52,60	40,58	51,07	0,40	0,58	-0,46	-0,30	-0,03	0,21
48,91	57,16	74,37	0,04	0,06	-0,60	0,14	0,34	0,23
61,93	115,54	106,01	-0,44	-0,48	-0,38	0,46	0,42	-0,09
178,24	88,71	65,30	-0,64	0,17	-0,26	-1,01	-1,73	-0,36
96,55	125,01	108,84	-0,15	-0,39	-0,35	0,23	0,11	-0,15
99,25	62,89	63,82	-0,32	0,39	-0,37	-0,58	-0,56	0,01
80,62	79,35	395,59	0,05	0,09	-0,22	-0,02	0,80	0,80
14,90	362,60	465,38	0,70	-2,39	-0,27	0,96	0,97	0,22
260,53	318,64	236,54	-1,18	-1,41	-0,13	0,18	-0,10	-0,35
207,40	168,60	139,40	-1,16	-0,83	-0,58	-0,23	-0,49	-0,21
149,34	178,87	140,74	0,05	-0,12	0,03	0,17	-0,06	-0,27
91,18	321,88	350,93	0,25	-1,23	-0,07	0,72	0,74	0,08
175,82	140,20	240,82	-0,93	-0,40	-0,48	-0,25	0,27	0,42
75,85	331,32	240,67	-692,83	2215,88	-1015,30	0,77	0,68	-0,38
141,89	303,62	175,36	0,13	-0,62	0,20	0,53	0,19	-0,73
308,63	223,74	152,44	-1,01	-0,82	0,07	-0,38	-1,02	-0,47
107,85	142,73	142,68	0,26	-0,21	-0,03	0,24	0,24	0,00
0,54	0,56	0,49	-11,16	-12,06	-477,69	0,04	-0,10	-0,15
0,27	56,99	123,86	-0,67	-480,43	-969,82	1,00	1,00	0,54
28,79	38,89	199,62	-20,30	-11,65	-44,00	0,26	0,86	0,81
51,48	268,59	255,12	-1,76	-7,03	-3,93	0,81	0,80	-0,05
129,06	246,81	357,03	0,13	-0,47	0,06	0,48	0,64	0,31
122,96	135,62	107,31	-0,01	-0,35	-0,36	0,09	-0,15	-0,26
111,64	5,30	130,64	-19,22	0,24	-23,06	-20,05	0,15	0,96
109,34	117,46	63,71	-0,24	-0,44	-0,69	0,07	-0,72	-0,84
130,57	140,30	197,12	-0,06	-0,20	-0,26	0,07	0,34	0,29
95,51	165,43	229,20	0,23	-0,53	-0,19	0,42	0,58	0,28
263,46	178,83	179,29	-2,58	-1,53	-0,74	-0,47	-0,47	0,00
310,11	45,37	51,24	-3,91	0,34	-1,03	-5,83	-5,05	0,11
					-3,82			
14,69	310,00	113,81	-0,26	-8,15	-3,04	0,95	0,87	-1,72
285,81	96,70	300,35	-2,66	-0,30	-0,80	-1,96	0,05	0,68
87,91	281,23	182,79	-0,06	-2,64	-0,89	0,69	0,52	-0,54
155,91	95,77	341,07	-2,03	-1,15	-1,71	-0,63	0,54	0,72
115,25	148,18	307,51	-1,22	-1,66	-1,89	0,22	0,63	0,52
234,40	182,13	192,47	-0,43	-0,20	0,08	-0,29	-0,22	0,05

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

143,72	392,96	466,91	-3,04	-9,64	-2,91	0,63	0,69	0,16
148,72	385,59	337,99	-1,06	-3,02	-0,68	0,61	0,56	-0,14
150,84	205,60	387,09	-27,05	-34,61	-23,71	0,27	0,61	0,47
257,37	258,11	230,50	-0,42	-0,66	0,13	0,00	-0,12	-0,12
66,95	54,53	42,08	-0,45	-0,61	-1,17	-0,23	-0,59	-0,30
32,66	69,22	194,41	0,28	-0,62	-1,47	0,53	0,83	0,64
43,53	227,33	138,77	0,15	-1,69	-0,78	0,81	0,69	-0,64
242,92	190,41	192,43	-0,39	-0,10	0,09	-0,28	-0,26	0,01
149,96	206,93	170,75	-0,20	-0,40	-0,06	0,28	0,12	-0,21
127,27	222,28	226,06	0,47	0,07	0,31	0,43	0,44	0,02
98,49	67,90	197,26	0,09	0,43	-0,17	-0,45	0,50	0,66
106,10	244,39	64,32	-0,06	-1,01	-0,25	0,57	-0,65	-2,80
110,23	23,85	21,87	0,09	-0,19	-0,01	-3,62	-4,04	-0,09
31,82	30,31	205,50	-0,31	-0,74	-0,02	-0,05	0,85	0,85
27,19	142,43	88,41	-0,44	-0,32	-0,11	0,81	0,69	-0,61
206,73	205,56	239,57	-0,66	-0,68	-0,13	-0,01	0,14	0,14
219,57	54,19	285,03	-0,27	0,54	0,02	-3,05	0,23	0,81
112,05	360,81	330,99	-0,71	-2,74	-0,83	0,69	0,66	-0,09
249,90	257,68	282,82	-1,03	-2,03	-0,34	0,03	0,12	0,09
184,25	113,82	185,60	-1,41	-1,58	-1,00	-0,62	0,01	0,39
106,72	176,56	188,07	-1,42	-2,49	-2,01	0,40	0,43	0,06
304,86	253,38	118,10	-0,83	-0,67	-0,04	-0,20	-1,58	-1,15
182,03	216,94	219,44	-0,28	-0,37	-0,14	0,16	0,17	0,01
141,64	366,36	136,92	-0,01	-1,05	0,03	0,61	-0,03	-1,68
149,15	342,91	382,95	0,04	-0,62	0,13	0,57	0,61	0,10
148,57	130,53	297,07	0,10	0,15	0,08	-0,14	0,50	0,56
122,73	219,66	203,69	0,39	-0,21	0,18	0,44	0,40	-0,08
91,04	347,42	116,84	-0,27	-2,24	-0,28	0,74	0,22	-1,97
250,28	86,84	245,56	-1,34	-0,27	-0,28	-1,88	-0,02	0,65
319,84	294,79	309,24	-1,85	-1,32	-0,43	-0,08	-0,03	0,05
273,24	304,57	155,77	-0,47	-0,74	0,04	0,10	-0,75	-0,96
332,07	272,74	304,80	-1,43	-1,04	-0,39	-0,22	-0,09	0,11
214,11	214,85	373,09	-0,74	-0,83	-0,45	0,00	0,43	0,42
190,44	229,28	305,72	-0,50	-0,89	-0,29	0,17	0,38	0,25
149,24	398,03	312,04	-0,46	-2,34	-0,35	0,63	0,52	-0,28
213,89	263,35	257,68	-0,35	-0,61	-0,13	0,19	0,17	-0,02
270,14	127,68	134,00	-2,44	-0,57	-1,27	-1,12	-1,02	0,05
121,20	157,98	244,80	-1,36	-2,39	-2,78	0,23	0,50	0,35
101,58	205,66	315,01	-1,05	-4,31	-2,85	0,51	0,68	0,35
164,32	215,33	308,53	-0,11	-0,48	-0,14	0,24	0,47	0,30
286,12	259,51	228,76	-14,75	-12,99	-9,38	-0,10	-0,25	-0,13
265,78	213,32	252,26	-0,22	0,04	0,17	-0,25	-0,05	0,15
274,90	262,32	248,54	-1,26	-1,02	-0,44	-0,05	-0,11	-0,06
204,58	234,57	278,74	-0,29	-0,51	-0,14	0,13	0,27	0,16

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

258,63	190,07	428,05	-1,24	-0,48	-0,31	-0,36	0,40	0,56
146,58	317,85	291,50	-0,25	-1,75	-0,51	0,54	0,50	-0,09
291,57	187,07	347,52	-0,45	-0,12	0,06	-0,56	0,16	0,46
179,27	251,94	275,35	-0,97	-1,58	-0,92	0,29	0,35	0,09
76,27	121,79	302,94	-0,12	-2,84	-1,63	0,37	0,75	0,60
227,28	202,54	198,18	-1,29	-1,08	-0,53	-0,12	-0,15	-0,02
264,75	268,77	382,73	-0,37	-0,33	0,05	0,01	0,31	0,30
323,55	383,72	205,63	-1,09	-1,14	-0,01	0,16	-0,57	-0,87
68,56	463,40	360,76	-0,32	-3,41	-0,69	0,85	0,81	-0,28
150,01	146,67	128,26	-0,67	-0,37	-0,65	-0,02	-0,17	-0,14
206,55	224,09	273,99	-0,19	-0,59	-0,01	0,08	0,25	0,18
174,06	364,42	271,80	-13,74	-26,45	-13,30	0,52	0,36	-0,34
201,99	177,78	211,80	-0,22	-0,10	-0,04	-0,14	0,05	0,16
225,30	235,72	236,19	-1,20	-1,68	-0,73	0,04	0,05	0,00
140,24	348,38	157,51	-4,37	-9,32	-4,69	0,60	0,11	-1,21
222,09	162,46	193,63	-0,54	-0,13	-0,29	-0,37	-0,15	0,16
160,46	270,40	264,05	-0,13	-0,61	-0,15	0,41	0,39	-0,02
172,88	133,19	133,94	0,17	0,31	0,11	-0,30	-0,29	0,01
208,22	270,60	143,72	-0,47	-1,11	-0,40	0,23	-0,45	-0,88
189,05	301,20	274,15	-0,21	-0,91	-0,16	0,37	0,31	-0,10
162,16	232,71	221,85	-0,71	-1,22	-0,90	0,30	0,27	-0,05
207,60	152,04	149,36	-1,08	-0,97	-1,05	-0,37	-0,39	-0,02
91,07	113,86	232,45	-0,51	-0,79	-1,68	0,20	0,61	0,51
286,13	134,66	283,44	-0,55	0,25	-0,07	-1,12	-0,01	0,52
163,72	454,67	392,00	-0,31	-2,17	-0,33	0,64	0,58	-0,16
157,09	266,96	433,17	-0,52	-1,37	-0,66	0,41	0,64	0,38
223,89	263,05	246,52	-0,28	-0,51	-0,09	0,15	0,09	-0,07
286,95	390,77	286,27	-1,17	-1,79	-0,31	0,27	0,00	-0,37
221,32	233,26	326,45	-0,89	-0,83	-0,54	0,05	0,32	0,29
104,77	183,71	220,56	0,10	-0,70	-0,73	0,43	0,52	0,17
49,68	240,72	70,13	0,45	-1,46	-0,88	0,79	0,29	-2,43
145,74	147,10	259,52	-0,73	-0,72	-1,26	0,01	0,44	0,43
88,27	185,95	253,09	0,19	-0,67	-0,77	0,53	0,65	0,27
274,29	211,62	320,51	-0,26	-0,11	0,46	-0,30	0,14	0,34
139,66	406,88	167,98	-0,12	-1,13	-0,01	0,66	0,17	-1,42
217,86	208,51	205,09	-0,63	-0,47	-0,43	-0,04	-0,06	-0,02
181,68	405,48	376,25	-0,92	-1,93	-0,43	0,55	0,52	-0,08
458,29	394,98	144,39	-3,15	-2,07	-0,51	-0,16	-2,17	-1,74
370,31	171,61	294,31	-2,53	-1,19	-0,89	-1,16	-0,26	0,42
138,35	287,07	346,07	-0,47	-1,17	-0,44	0,52	0,60	0,17
236,23	242,50	375,47	-2,58	-2,74	-1,37	0,03	0,37	0,35
445,94	427,91	248,62	-1,79	-1,55	-0,26	-0,04	-0,79	-0,72
274,21	198,02	299,65	-0,74	-0,18	-0,16	-0,38	0,08	0,34
109,37	378,81	320,78	-0,75	-3,57	-1,40	0,71	0,66	-0,18
237,70	269,96	298,71	-0,90	-1,26	-0,57	0,12	0,20	0,10

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

303,09	297,09	383,57	-0,63	-0,54	-0,11	-0,02	0,21	0,23
213,85	301,72	261,55	-1,98	-3,97	-1,77	0,29	0,18	-0,15
130,48	312,64	133,56	-0,18	-1,43	-0,45	0,58	0,02	-1,34
267,83	256,59	247,66	-0,49	-0,33	-0,03	-0,04	-0,08	-0,04
193,85	240,28	336,46	-9,45	-10,85	-9,16	0,19	0,42	0,29
327,50	232,93	227,52	-0,69	-0,35	-0,07	-0,41	-0,44	-0,02
183,23	137,11	169,98	0,04	0,25	-0,02	-0,34	-0,08	0,19
288,65	384,20	241,59	-0,52	-1,11	-0,04	0,25	-0,19	-0,59
160,65	263,32	243,65	-0,45	-1,04	-0,45	0,39	0,34	-0,08
296,44	263,11	99,74	-1,96	-1,64	-0,90	-0,13	-1,97	-1,64
80,05	163,16	43,70	-0,23	-1,06	-1,28	0,51	-0,83	-2,73
201,20	31,89	416,85	-3,35	0,21	-2,52	-5,31	0,52	0,92
21,49	366,06	162,88	0,43	-3,28	-1,19	0,94	0,87	-1,25
					-1,13			
219,05	214,41	92,69	-0,81	-0,94	-0,65	-0,02	-1,36	-1,31
160,07	57,55	57,57	-1,61	0,30	-1,44	-1,78	-1,78	0,00
18,97	19,42	19,47	0,47	0,41	-1,67	0,02	0,03	0,00
55,97	56,82	50,64	-0,17	-0,22	-1,01	0,01	-0,11	-0,12
22,59	25,29	250,82	0,30	0,57	-1,15	0,11	0,91	0,90
57,18	206,94	399,71	-0,10	-1,24	-1,00	0,72	0,86	0,48
288,55	452,07	257,49	-0,87	-1,97	-0,31	0,36	-0,12	-0,76
198,37	338,01	364,38	-0,75	-1,87	-0,80	0,41	0,46	0,07
219,21	251,95	231,20	-0,79	-1,07	-0,58	0,13	0,05	-0,09
214,32	135,05	218,37	-0,56	0,01	-0,43	-0,59	0,02	0,38
123,95	194,96	126,05	-0,10	-0,52	-0,46	0,36	0,02	-0,55
226,59	398,56	410,16	-0,29	-1,04	-0,03	0,43	0,45	0,03
145,95	135,90	104,64	-0,72	-0,62	-0,62	-0,07	-0,39	-0,30
165,65	152,66	182,65	-0,33	-0,01	-0,13	-0,09	0,09	0,16
147,72	70,72	61,95	-0,83	-0,15	-0,74	-1,09	-1,38	-0,14
72,22	62,35	347,59	0,02	0,20	-1,48	-0,16	0,79	0,82
62,13	360,76	62,42	-0,07	-2,34	-0,83	0,83	0,00	-4,78
253,02	195,81	148,24	-1,40	-0,64	-0,72	-0,29	-0,71	-0,32
172,39	177,56	281,82	-0,79	-0,82	-0,68	0,03	0,39	0,37
375,26	345,80	406,89	-1,57	-1,37	-0,38	-0,09	0,08	0,15
127,72	145,10	167,57	0,21	0,13	-0,19	0,12	0,24	0,13
104,54	200,42	233,20	0,23	-0,92	-0,51	0,48	0,55	0,14
178,94	193,44	92,21	-3,36	-3,50	-2,59	0,08	-0,94	-1,10
222,99	209,87	189,30	-1,18	-0,87	-0,65	-0,06	-0,18	-0,11
94,33	42,15	26,60	-3,68	-1,95	-6,85	-1,24	-2,55	-0,58
15,04	15,05	15,72	0,05	0,04	-6,85	0,00	0,04	0,04
36,17	35,73	35,39	-0,15	-0,12	-2,65	-0,01	-0,02	-0,01
18,08	18,14	18,20	0,41	0,39	-3,14	0,00	0,01	0,00
12,55	12,46	109,65	0,43	0,43	-3,97	-0,01	0,89	0,89
54,96	68,54	26,03	-0,42	-0,44	-2,08	0,20	-1,11	-1,63
136,98	164,59	178,87	-0,51	-0,81	-0,75	0,17	0,23	0,08

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

48,75	55,98	16,51	0,26	0,03	-1,23	0,13	-1,95	-2,39
74,93	161,83	268,55	0,21	-0,50	-0,88	0,54	0,72	0,40
217,15	238,50	177,32	-0,81	-1,17	-0,75	0,09	-0,22	-0,35
271,29	44,98	33,16	-3,01	0,03	-1,89	-5,03	-7,18	-0,36
16,98	17,14	17,73	0,36	0,34	-3,51	0,01	0,04	0,03
42,13	42,32	27,06	0,08	0,07	-2,15	0,00	-0,56	-0,56
71,86	55,56	70,78	-0,26	0,05	-1,41	-0,29	-0,02	0,22
					-0,37			
39,22	39,36	39,44	0,03	0,02	-2,67	0,00	0,01	0,00
14,46	14,28	14,10	0,33	0,36	-6,13	-0,01	-0,03	-0,01
40,58	40,04	39,45	-0,26	-0,22	-2,52	-0,01	-0,03	-0,01
70,80	70,27	69,66	-0,32	-0,29	-1,18	-0,01	-0,02	-0,01
36,79	36,54	100,27	0,36	0,36	-1,20	-0,01	0,63	0,64
258,09	183,17	233,59	-2,41	-1,36	-1,38	-0,41	-0,10	0,22
147,44	209,77	229,67	-1,20	-1,84	-1,48	0,30	0,36	0,09
150,91	193,48	192,80	-0,65	-1,38	-0,74	0,22	0,22	0,00
163,05	156,51	145,48	-0,60	-0,58	-0,51	-0,04	-0,12	-0,08
221,59	253,40	245,38	-0,50	-0,71	-0,20	0,13	0,10	-0,03
48,20	70,44	147,90	0,15	0,01	-0,97	0,32	0,67	0,52
50,58	192,23	98,51	0,27	-1,42	-1,29	0,74	0,49	-0,95
144,40	50,28	95,78	-0,48	0,36	-0,84	-1,87	-0,51	0,48
17,70	22,10	25,24	0,77	0,67	-1,24	0,20	0,30	0,12
25,31	19,23	19,32	0,63	0,67	-1,17	-0,32	-0,31	0,00
16,90	34,20	42,71	0,46	0,38	-1,35	0,51	0,60	0,20
54,19	30,55	35,11	0,23	0,37	-1,32	-0,77	-0,54	0,13
54,72	40,58	117,43	0,09	0,15	-0,96	-0,35	0,53	0,65
44,43	86,73	40,31	0,32	0,15	-0,77	0,49	-0,10	-1,15
163,49	179,80	228,07	-0,15	-0,26	-0,36	0,09	0,28	0,21
					-0,76			
29,72	29,10	28,39	0,49	0,52	-1,17	-0,02	-0,05	-0,02
47,89	48,57	49,30	0,19	0,17	-1,44	0,01	0,03	0,01
29,99	29,23	28,49	0,28	0,32	-1,29	-0,03	-0,05	-0,03
61,14	60,26	59,39	0,08	0,12	-1,10	-0,01	-0,03	-0,01
47,17	46,71	46,25	0,38	0,41	-0,90	-0,01	-0,02	-0,01
43,66	44,08	52,85	0,23	0,21	-1,45	0,01	0,17	0,17
48,49	28,49	45,88	-0,07	0,25	-1,16	-0,70	-0,06	0,38
47,02	48,20	37,07	0,37	0,33	-1,06	0,02	-0,27	-0,30
					-1,48			
					-1,54			
					-0,30			
116,42	20,15	29,56	-0,24	0,33	-0,94	-4,78	-2,94	0,32
33,99	38,10	63,20	0,57	0,49	-0,98	0,11	0,46	0,40
127,43	139,75	138,48	-0,75	-0,89	-1,03	0,09	0,08	-0,01
33,00	21,06	29,35	0,63	0,59	-0,84	-0,57	-0,12	0,28

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

52,78	61,02	68,59	0,42	0,21	-0,75	0,14	0,23	0,11
80,42	75,04	77,72	-0,24	-0,14	-1,18	-0,07	-0,03	0,03
156,02	178,27	137,88	-1,08	-1,42	-1,46	0,12	-0,13	-0,29
175,50	156,27	179,32	-0,39	-0,32	-0,39	-0,12	0,02	0,13
165,02	142,69	142,27	-0,33	0,09	-0,32	-0,16	-0,16	0,00
20,78	19,11	17,45	0,57	0,65	-0,55	-0,09	-0,19	-0,10
25,89	27,51	29,27	0,02	-0,12	-1,69	0,06	0,12	0,06
17,67	18,10	18,90	-0,13	-0,19	-1,68	0,02	0,07	0,04
30,12	30,59	157,82	-0,98	-1,32	-3,27	0,02	0,81	0,81
38,67	24,12	35,95	-2,17	-0,22	-3,20	-0,60	-0,08	0,33
231,39	86,51	85,68	-1,87	-0,28	-1,41	-1,67	-1,70	-0,01
					-2,02			
111,66	38,76	39,93	0,16	0,62	-0,11	-1,88	-1,80	0,03
50,15	49,17	43,38	-0,10	0,24	-0,33	-0,02	-0,16	-0,13
					-0,60			
					-0,45			
					-1,03			
245,84	101,35	49,92	-1,19	-0,20	-0,66	-1,43	-3,92	-1,03
187,12	143,13	133,63	-0,91	-0,48	-0,53	-0,31	-0,40	-0,07
124,82	116,07	113,98	0,20	0,30	0,03	-0,08	-0,10	-0,02
56,62	36,15	46,65	0,60	0,55	-0,16	-0,57	-0,21	0,23
140,81	146,95	190,89	-0,12	-0,17	-0,05	0,04	0,26	0,23
59,94	154,62	25,69	0,38	-0,43	-0,27	0,61	-1,33	-5,02
233,93	361,62	393,89	-0,75	-1,93	-0,52	0,35	0,41	0,08
107,13	121,24	119,62	-0,01	-0,16	-0,60	0,12	0,10	-0,01
19,79	21,56	23,60	0,58	0,50	-2,26	0,08	0,16	0,09
24,52	24,42	24,14	0,27	0,31	-2,50	0,00	-0,02	-0,01
60,75	58,41	38,35	-0,47	-0,34	-1,54	-0,04	-0,58	-0,52
217,52	38,15	47,86	-1,80	0,46	-1,09	-4,70	-3,54	0,20
44,05	76,45	275,91	0,51	-0,34	-0,97	0,42	0,84	0,72
78,68	124,95	84,57	0,21	-0,33	-0,62	0,37	0,07	-0,48
36,01	48,48	342,71	0,46	0,47	-0,96	0,26	0,89	0,86
95,49	378,36	354,56	0,36	-1,45	-0,20	0,75	0,73	-0,07
204,48	203,11	224,43	-0,10	-0,10	-0,02	-0,01	0,09	0,10
263,10	262,54	164,77	-0,50	-0,50	-0,07	0,00	-0,60	-0,59
317,05	174,34	156,18	-1,54	-0,45	-0,47	-0,82	-1,03	-0,12
191,17	197,91	234,14	-0,70	-0,77	-0,52	0,03	0,18	0,15
260,07	220,57	274,57	-0,67	-0,38	-0,09	-0,18	0,05	0,20
137,64	170,28	171,29	-0,95	-0,77	-0,73	0,19	0,20	0,01
22,16	144,62	320,00	0,09	-6,60	-7,12	0,85	0,93	0,55
					-0,27			
140,46	229,33	174,90	0,15	-0,38	-0,12	0,39	0,20	-0,31
267,15	126,30	297,71	-1,24	-0,07	-0,54	-1,12	0,10	0,58
159,82	166,29	186,46	-0,29	-0,23	-0,39	0,04	0,14	0,11

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

209,98	108,88	295,84	-0,71	-0,08	-0,53	-0,93	0,29	0,63
222,14	311,42	136,47	-0,25	-0,72	-0,02	0,29	-0,63	-1,28
122,85	235,80	270,84	-0,02	-0,69	-0,27	0,48	0,55	0,13
288,77	135,60	132,77	-0,84	0,05	-0,16	-1,13	-1,17	-0,02
51,71	59,73	274,39	0,51	0,27	-0,45	0,13	0,81	0,78
38,61	366,93	235,87	0,41	-1,90	-0,33	0,89	0,84	-0,56
238,90	301,75	365,33	-1,34	-2,07	-0,76	0,21	0,35	0,17
317,63	315,23	27,01	-2,21	-2,15	-0,57	-0,01	-10,76	-10,67
229,63	301,45	287,76	-0,87	-1,59	-0,45	0,24	0,20	-0,05
83,79	440,34	109,35	-0,29	-1,50	-0,05	0,81	0,23	-3,03
135,52	332,87	144,21	-1,76	-3,12	-1,07	0,59	0,06	-1,31
95,78	241,14	287,85	-0,72	-2,80	-1,30	0,60	0,67	0,16
203,51	271,29	160,42	-1,49	-1,98	-0,62	0,25	-0,27	-0,69
196,45	184,92	115,83	-2,18	-1,93	-1,16	-0,06	-0,70	-0,60
352,59	264,53	374,04	-4,11	-3,52	-1,55	-0,33	0,06	0,29
269,91	358,49	272,63	-5,53	-7,08	-2,50	0,25	0,01	-0,31
180,57	336,77	301,13	-1,39	-2,54	-0,78	0,46	0,40	-0,12
214,48	276,13	225,27	-0,81	-1,32	-0,29	0,22	0,05	-0,23
336,77	68,09	81,78	-1,92	0,00	-0,53	-3,95	-3,12	0,17
205,41	204,62	195,80	-1,37	-1,33	-0,62	0,00	-0,05	-0,05
75,84	78,38	96,69	-6,73	-7,25	-8,65	0,03	0,22	0,19
28,57	27,12	37,37	-0,50	-0,68	-6,43	-0,05	0,24	0,27
40,66	75,38	106,44	-0,32	-2,21	-2,22	0,46	0,62	0,29
25,51	210,19	147,75	0,43	-3,43	-1,67	0,88	0,83	-0,42
212,35	191,65	256,22	-2,16	-2,18	-1,15	-0,11	0,17	0,25
287,20	332,75	468,88	-2,61	-2,70	-0,83	0,14	0,39	0,29
173,25	307,37	179,38	-0,49	-1,08	-0,12	0,44	0,03	-0,71
36,75	82,15	150,36	-0,25	-1,90	-3,78	0,55	0,76	0,45
85,28	98,50	149,44	-0,07	-0,50	-1,13	0,13	0,43	0,34
113,01	226,05	296,15	-0,62	-1,46	-0,70	0,50	0,62	0,24
93,69	142,18	331,82	0,40	-0,09	-0,07	0,34	0,72	0,57
261,57	254,87	298,87	-0,66	-0,58	-0,06	-0,03	0,12	0,15
159,10	249,67	314,33	0,01	-0,82	-0,08	0,36	0,49	0,21
179,54	174,00	211,32	-0,29	-0,13	0,07	-0,03	0,15	0,18
130,09	304,18	89,76	-1,17	-2,57	-0,65	0,57	-0,45	-2,39
239,85	219,49	229,97	-1,17	-0,89	-0,29	-0,09	-0,04	0,05
41,28	330,08	113,99	0,37	-3,21	-0,98	0,87	0,64	-1,90
219,65	265,48	149,70	-1,18	-1,42	-0,29	0,17	-0,47	-0,77
27,06	323,62	24,20	0,56	-1,40	-0,24	0,92	-0,12	-12,37
122,97	193,21	227,57	0,07	-0,31	-0,03	0,36	0,46	0,15
17,46	472,05	431,28	0,54	-2,83	-0,26	0,96	0,96	-0,09
112,01	83,15	128,15	-0,19	0,05	-0,71	-0,35	0,13	0,35
115,27	129,43	108,03	-0,08	-0,35	-0,50	0,11	-0,07	-0,20
279,33	287,76	269,58	-0,60	-0,61	0,06	0,03	-0,04	-0,07

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

42,43	265,77	167,40	-1,38	-7,65	-4,23	0,84	0,75	-0,59
176,64	182,75	239,46	-0,79	-0,56	-0,36	0,03	0,26	0,24
169,83	273,40	166,26	-0,23	-0,90	-0,06	0,38	-0,02	-0,64
101,37	242,26	280,32	-0,41	-1,84	-0,59	0,58	0,64	0,14
35,15	329,92	372,66	-0,24	-2,24	-0,35	0,89	0,91	0,11
208,59	310,67	346,29	-1,39	-1,63	-0,38	0,33	0,40	0,10
					-0,25			
70,33	185,38	185,99	0,33	-0,79	-0,38	0,62	0,62	0,00
43,96	104,42	334,48	-0,67	-3,35	-4,89	0,58	0,87	0,69
174,88	105,88	133,47	-0,41	-0,03	-0,20	-0,65	-0,31	0,21
149,15	227,65	215,45	-0,59	-1,51	-0,69	0,34	0,31	-0,06
150,83	134,97	113,80	-0,32	-0,16	-0,10	-0,12	-0,33	-0,19
23,27	20,77	17,02	0,46	0,77	-0,37	-0,12	-0,37	-0,22
18,06	26,58	17,45	0,58	0,54	-0,55	0,32	-0,03	-0,52
66,93	97,09	83,02	0,41	0,06	0,04	0,31	0,19	-0,17
38,63	57,24	32,82	0,43	0,27	-0,33	0,33	-0,18	-0,74
14,45	126,58	283,22	0,83	-0,25	-0,03	0,89	0,95	0,55
73,58	248,31	448,58	-0,65	-1,16	-0,15	0,70	0,84	0,45
290,63	226,01	236,96	-0,77	-0,37	0,13	-0,29	-0,23	0,05
62,78	56,16	150,91	-0,22	-0,09	-1,32	-0,12	0,58	0,63
5,94	41,16	300,48	0,19	-5,43	-19,94	0,86	0,98	0,86
135,58	251,19	203,73	0,11	-0,86	0,05	0,46	0,33	-0,23
218,49	140,11	145,86	-0,60	-0,27	-0,12	-0,56	-0,50	0,04
149,93	140,38	303,08	-27,12	-21,18	-24,45	-0,07	0,51	0,54
242,49	219,94	243,70	-0,51	-0,34	0,09	-0,10	0,00	0,10
86,06	81,16	46,53	0,19	0,39	0,02	-0,06	-0,85	-0,74
29,92	29,30	362,85	0,73	0,58	0,00	-0,02	0,92	0,92
185,09	326,62	185,09	-0,08	-0,88	0,15	0,43	0,00	-0,76
81,70	239,23	318,79	0,14	-1,07	-0,39	0,66	0,74	0,25
303,23	293,95	420,23	-1,26	-1,14	0,07	-0,03	0,28	0,30
166,35	178,09	203,35	0,01	-0,11	0,28	0,07	0,18	0,12
134,37	182,02	220,40	-0,26	-1,24	-0,22	0,26	0,39	0,17
					0,03			
312,71	54,72	54,18	-1,74	0,14	-0,38	-4,71	-4,77	-0,01
22,35	63,05	320,54	0,18	-3,54	-4,93	0,65	0,93	0,80
180,69	261,99	181,96	-0,76	-1,24	-0,38	0,31	0,01	-0,44
240,41	335,16	362,30	-1,13	-1,67	-0,13	0,28	0,34	0,07
215,67	242,83	413,77	-2,47	-4,13	-1,19	0,11	0,48	0,41
					-1,81			
298,85	298,70	298,70	-1,69	-1,73	-0,10	0,00	0,00	0,00
418,12	418,19	418,19	-23,48	-23,75	-7,07	0,00	0,00	0,00
361,49	361,45	361,53	-3,25	-3,30	-0,55	0,00	0,00	0,00
425,68	425,86	425,40	-2,75	-2,76	-0,30	0,00	0,00	0,00
73,04	400,11	354,07	-14,35	-53,33	-18,40	0,82	0,79	-0,13
168,74	209,66	144,93	0,01	-0,21	0,15	0,20	-0,16	-0,45

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

190,74	59,55	309,18	-0,18	0,51	0,18	-2,20	0,38	0,81
163,41	352,84	413,68	-0,07	-1,13	0,10	0,54	0,60	0,15
116,34	106,25	290,96	-42,73	-37,36	-34,91	-0,09	0,60	0,63
					0,08			
207,92	190,63	146,06	-0,20	-0,50	0,08	-0,09	-0,42	-0,31
101,71	121,38	425,82	0,15	-0,25	-0,09	0,16	0,76	0,71
35,01	435,83	246,16	0,59	-2,34	-0,12	0,92	0,86	-0,77
123,14	190,74	317,09	0,06	-0,30	-0,08	0,35	0,61	0,40
152,73	136,46	117,08	-0,35	-0,42	-0,18	-0,12	-0,30	-0,17
32,18	105,61	202,37	0,49	-0,12	-0,12	0,70	0,84	0,48

10.3. Skill Score for RMSE (daily DNI)

RMSE _{0d} (W/m ²)	RMSE _{1d} (W/m ²)	RMSE _{2d} (W/m ²)	S ₀₁	S ₀₂	S ₁₂
0,08	2,47	4,92	0,97	0,98	0,50
0,47	3,97	1,32	0,88	0,65	-2,00
0,78	0,59	0,75	-0,32	-0,03	0,22
0,21	0,64	0,67	0,67	0,68	0,04
0,57	1,58	1,40	0,64	0,59	-0,12
2,11	0,81	0,69	-1,60	-2,08	-0,19
0,68	0,91	1,63	0,25	0,58	0,44
1,18	0,51	0,53	-1,31	-1,22	0,04
1,19	1,17	5,58	-0,02	0,79	0,79
0,06	5,18	6,77	0,99	0,99	0,23
2,80	4,48	1,80	0,38	-0,55	-1,48
2,83	0,35	1,27	-7,04	-1,23	0,72
0,31	2,17	0,75	0,86	0,59	-1,91
0,96	4,02	4,78	0,76	0,80	0,16
0,10	1,31	2,12	0,92	0,95	0,38
0,37	4,72	2,65	0,92	0,86	-0,78
0,66	3,11	1,16	0,79	0,43	-1,69
1,43	0,57	1,24	-1,52	-0,15	0,54
0,46	0,94	0,94	0,52	0,51	0,00
0,00	0,00	0,01	-0,20	0,84	0,87
0,00	0,29	0,65	0,99	0,99	0,56
0,28	0,34	1,95	0,16	0,85	0,83
0,39	3,11	3,03	0,88	0,87	-0,03
0,37	2,67	3,69	0,86	0,90	0,28
0,43	0,04	0,43	-10,40	0,01	0,91
1,00	0,04	0,63	-27,17	-0,58	0,94
0,71	1,14	0,08	0,37	-8,11	-13,52
0,39	0,18	1,13	-1,10	0,66	0,84
0,44	0,44	2,78	-0,01	0,84	0,84
2,29	0,82	1,41	-1,79	-0,62	0,42
0,08	4,22	1,67	0,98	0,95	-1,52
2,34	0,65	3,77	-2,61	0,38	0,83
0,54	3,18	1,24	0,83	0,57	-1,56
1,29	0,86	4,27	-0,50	0,70	0,80
0,70	1,25	4,57	0,44	0,85	0,73
0,51	1,57	1,19	0,68	0,57	-0,32
2,23	5,77	6,96	0,61	0,68	0,17

2,05	5,35	2,27	0,62	0,10	-1,36
0,74	2,70	5,72	0,73	0,87	0,53
1,56	1,91	2,73	0,18	0,43	0,30
0,92	0,44	0,06	-1,09	-14,94	-6,61
0,48	1,05	2,56	0,54	0,81	0,59
0,66	1,93	0,89	0,66	0,25	-1,17
2,09	2,13	0,73	0,02	-1,87	-1,93
0,66	0,06	1,80	-10,12	0,63	0,97
0,75	2,24	2,46	0,67	0,70	0,09
1,13	0,75	2,42	-0,50	0,53	0,69
0,05	1,56	0,49	0,97	0,89	-2,21
1,67	0,31	0,27	-4,36	-5,07	-0,13
0,36	0,33	2,49	-0,11	0,85	0,87
0,34	2,26	0,65	0,85	0,49	-2,45
2,43	2,40	2,95	-0,01	0,17	0,19
2,45	0,79	3,77	-2,08	0,35	0,79
0,63	4,67	3,49	0,86	0,82	-0,34
3,18	2,77	3,74	-0,15	0,15	0,26
1,59	0,63	1,25	-1,50	-0,27	0,49
0,55	1,36	1,65	0,60	0,67	0,18
0,84	0,76	0,51	-0,10	-0,63	-0,49
0,04	2,11	2,55	0,98	0,98	0,17
0,66	5,33	0,65	0,88	-0,01	-7,18
1,91	3,80	4,78	0,50	0,60	0,21
0,76	0,02	2,40	-33,30	0,69	0,99
0,55	0,03	1,80	-19,21	0,69	0,98
1,36	4,12	0,05	0,67	-27,61	-85,88
4,06	1,96	2,51	-1,07	-0,61	0,22
2,46	3,06	0,05	0,20	-51,77	-64,81
3,80	2,23	1,42	-0,71	-1,66	-0,56
1,09	0,50	2,22	-1,17	0,51	0,77
1,24	0,68	4,13	-0,83	0,70	0,84
0,32	4,92	2,23	0,94	0,86	-1,20
0,34	2,86	1,96	0,88	0,83	-0,46
3,52	0,43	0,41	-7,24	-7,64	-0,05
0,70	1,63	2,43	0,57	0,71	0,33
0,34	2,86	3,49	0,88	0,90	0,18
1,21	1,16	3,54	-0,04	0,66	0,67
4,14	3,39	2,74	-0,22	-0,51	-0,23
2,12	0,04	3,21	-55,43	0,34	0,99
0,11	0,99	3,59	0,89	0,97	0,72
1,05	3,29	3,73	0,68	0,72	0,12
0,96	0,79	3,97	-0,21	0,76	0,80

1,53	3,82	2,29	0,60	0,33	-0,67
3,35	2,49	3,91	-0,34	0,14	0,36
0,69	2,99	2,58	0,77	0,73	-0,16
0,21	0,22	4,58	0,08	0,95	0,95
1,68	0,54	1,70	-2,11	0,01	0,68
0,91	1,76	5,37	0,48	0,83	0,67
1,46	5,63	1,91	0,74	0,24	-1,95
0,48	7,36	5,45	0,94	0,91	-0,35
0,33	1,81	0,37	0,82	0,11	-3,94
0,69	0,19	2,52	-2,71	0,72	0,93
1,75	5,31	3,44	0,67	0,49	-0,54
0,99	1,85	2,38	0,46	0,58	0,22
0,58	0,66	3,81	0,13	0,85	0,83
1,15	4,59	1,92	0,75	0,40	-1,39
1,48	1,73	0,87	0,14	-0,71	-0,99
0,41	3,53	1,75	0,89	0,77	-1,02
2,17	0,36	0,60	-5,05	-2,59	0,41
1,42	0,57	0,14	-1,48	-9,30	-3,15
0,11	0,26	0,86	0,59	0,88	0,70
0,09	1,96	1,07	0,95	0,92	-0,83
2,45	0,17	0,13	-13,79	-17,17	-0,23
0,51	0,55	2,02	0,07	0,75	0,73
3,59	0,62	3,27	-4,78	-0,10	0,81
2,42	7,32	6,15	0,67	0,61	-0,19
0,55	3,92	5,69	0,86	0,90	0,31
0,28	3,38	1,26	0,92	0,77	-1,68
1,91	6,15	3,91	0,69	0,51	-0,57
2,34	3,19	3,31	0,27	0,29	0,04
1,11	0,11	0,87	-9,30	-0,28	0,88
0,11	2,78	0,37	0,96	0,69	-6,60
1,08	1,08	3,34	0,00	0,68	0,68
0,34	1,72	2,67	0,80	0,87	0,36
1,65	2,27	1,64	0,27	-0,01	-0,38
0,32	5,11	0,39	0,94	0,20	-11,94
1,29	1,74	0,44	0,26	-1,92	-2,95
2,97	4,64	5,31	0,36	0,44	0,13
7,39	5,61	2,00	-0,32	-2,70	-1,81
5,58	1,01	2,72	-4,53	-1,05	0,63
1,69	2,48	3,88	0,32	0,56	0,36
2,69	2,92	3,82	0,08	0,30	0,24
6,68	5,41	2,42	-0,24	-1,76	-1,23
1,66	2,89	0,99	0,43	-0,68	-1,93
1,28	5,99	5,30	0,79	0,76	-0,13
0,58	0,84	0,07	0,31	-6,83	-10,43
0,49	2,84	0,27	0,83	-0,84	-9,60

1,18	1,23	1,06	0,04	-0,12	-0,17
1,41	0,10	0,96	-13,47	-0,46	0,90
0,43	0,39	1,00	-0,11	0,57	0,61
2,39	2,68	5,06	0,11	0,53	0,47
4,03	1,29	0,85	-2,13	-3,76	-0,52
2,70	0,06	1,68	-45,43	-0,61	0,97
3,36	5,61	0,86	0,40	-2,93	-5,55
0,87	3,33	2,62	0,74	0,67	-0,27
4,70	3,44	1,58	-0,37	-1,98	-1,18
1,26	2,27	0,23	0,45	-4,42	-8,82
2,83	0,12	4,99	-21,80	0,43	0,98
2,77	2,50	0,93	-0,11	-1,99	-1,70
2,53	0,04	0,02	-61,83	-120,97	-0,94
0,16	0,18	0,19	0,12	0,14	0,03
0,94	0,96	0,50	0,01	-0,90	-0,93
0,01	0,15	2,92	0,91	1,00	0,95
1,02	2,74	6,33	0,63	0,84	0,57
4,09	5,56	3,82	0,27	-0,07	-0,46
1,62	3,75	3,30	0,57	0,51	-0,14
1,96	2,75	0,27	0,29	-6,34	-9,29
1,32	1,58	1,32	0,16	0,00	-0,20
0,60	2,62	0,75	0,77	0,20	-2,52
2,05	6,45	5,96	0,68	0,66	-0,08
1,25	0,79	0,49	-0,59	-1,55	-0,60
0,97	0,31	1,57	-2,14	0,38	0,80
1,59	0,42	0,14	-2,78	-10,22	-1,97
0,44	0,16	3,30	-1,75	0,87	0,95
0,98	5,24	0,53	0,81	-0,86	-8,97
3,73	0,27	1,20	-12,85	-2,10	0,78
0,79	0,29	1,10	-1,76	0,28	0,74
4,85	3,81	5,40	-0,27	0,10	0,29
0,25	1,41	1,16	0,82	0,78	-0,22
0,20	2,14	3,10	0,91	0,94	0,31
2,70	3,39	0,91	0,20	-1,98	-2,74
1,62	1,47	1,68	-0,10	0,03	0,12
1,68	0,63	0,15	-1,67	-10,43	-3,28
0,17	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00
0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00
0,27	0,27	0,27	0,00	-0,01	-0,01
0,10	0,10	1,10	0,01	0,91	0,91
0,90	0,12	0,39	-6,83	-1,32	0,70
1,73	2,69	2,97	0,36	0,42	0,09
0,56	0,77	0,04	0,27	-11,61	-16,29

0,35	2,02	2,84	0,83	0,88	0,29
0,48	1,08	0,91	0,56	0,48	-0,19
4,07	0,56	0,32	-6,24	-11,76	-0,76
0,14	0,13	0,12	-0,04	-0,10	-0,05
0,64	0,64	0,17	-0,01	-2,86	-2,82
0,52	0,53	0,54	0,01	0,03	0,02
0,20	0,19	0,18	-0,05	-0,10	-0,05
0,73	0,72	0,71	-0,01	-0,03	-0,01
1,27	1,26	1,25	-0,01	-0,02	-0,01
0,56	0,55	1,56	-0,02	0,64	0,64
4,47	2,14	4,03	-1,09	-0,11	0,47
0,13	1,63	2,21	0,92	0,94	0,26
1,81	2,53	2,52	0,29	0,28	0,00
2,20	2,00	1,61	-0,10	-0,37	-0,24
2,63	3,07	2,87	0,14	0,08	-0,07
0,61	0,41	2,27	-0,49	0,73	0,82
0,07	3,26	1,23	0,98	0,95	-1,66
2,55	0,14	1,61	-17,53	-0,59	0,91
0,14	0,25	0,01	0,43	-22,92	-41,04
0,06	0,02	0,04	-1,54	-0,52	0,40
0,02	0,46	0,07	0,95	0,65	-5,86
0,99	0,08	0,52	-12,09	-0,90	0,86
0,83	0,41	1,22	-1,00	0,32	0,66
0,01	1,17	0,06	0,99	0,90	-18,01
0,26	0,25	0,23	-0,07	-0,15	-0,08
0,60	0,62	0,64	0,03	0,06	0,03
0,18	0,17	0,15	-0,11	-0,26	-0,13
1,05	1,03	1,01	-0,02	-0,04	-0,02
0,28	0,26	0,24	-0,08	-0,16	-0,08
0,18	0,20	0,83	0,10	0,78	0,76
0,62	0,37	0,58	-0,66	-0,07	0,35
2,02	0,11	0,00	-17,48	-1046,12	-55,65
0,47	0,46	0,98	-0,02	0,52	0,53
2,30	2,46	2,44	0,07	0,06	-0,01
0,41	0,18	0,34	-1,25	-0,20	0,47
0,43	0,36	0,12	-0,21	-2,69	-2,05

1,34	1,18	1,29	-0,14	-0,03	0,09
2,30	2,66	1,73	0,13	-0,33	-0,54
0,49	0,11	1,03	-3,58	0,53	0,90
0,19	1,46	1,44	0,87	0,87	-0,02
0,34	0,31	0,29	-0,09	-0,19	-0,10
0,23	0,26	0,29	0,11	0,20	0,10
0,21	0,23	0,26	0,12	0,21	0,11
0,03	0,06	2,17	0,46	0,98	0,97
0,58	0,08	0,52	-6,51	-0,12	0,85
1,39	0,63	0,66	-1,21	-1,11	0,05
2,13	1,49	0,63	-0,43	-2,38	-1,36
2,81	2,02	1,55	-0,40	-0,82	-0,30
0,80	0,64	0,58	-0,24	-0,38	-0,11
0,78	0,36	0,58	-1,19	-0,34	0,39
0,99	0,80	2,27	-0,24	0,56	0,65
0,12	2,52	0,35	0,95	0,65	-6,28
2,38	5,46	5,94	0,56	0,60	0,08
1,81	2,07	2,03	0,12	0,11	-0,02
0,16	0,19	0,23	0,19	0,31	0,16
0,01	0,05	0,38	0,73	0,96	0,87
1,03	1,00	0,53	-0,04	-0,94	-0,87
2,79	0,48	0,69	-4,86	-3,04	0,31
0,10	0,00	3,62	-19,64	0,97	1,00
0,71	1,48	0,91	0,52	0,21	-0,63
0,28	0,22	4,85	-0,26	0,94	0,96
0,26	5,35	5,11	0,95	0,95	-0,05
1,44	1,81	2,07	0,20	0,30	0,13
3,23	3,24	0,39	0,00	-7,20	-7,23
3,12	0,32	1,06	-8,76	-1,96	0,70
2,45	2,80	1,26	0,13	-0,95	-1,22
2,76	2,24	3,40	-0,23	0,19	0,34
0,85	0,62	0,38	-0,38	-1,25	-0,63
0,32	1,25	0,18	0,74	-0,83	-6,07
1,23	0,54	0,42	-1,30	-1,97	-0,29
1,30	2,08	0,89	0,37	-0,46	-1,33
2,54	0,92	3,80	-1,76	0,33	0,76

2,24	3,07	0,86	0,27	-1,59	-2,56
0,18	3,44	4,04	0,95	0,95	0,15
4,16	1,83	1,75	-1,27	-1,37	-0,04
0,84	0,93	4,10	0,10	0,80	0,77
0,37	4,91	2,67	0,92	0,86	-0,84
2,79	3,32	3,44	0,16	0,19	0,04
4,32	4,26	0,11	-0,02	-38,02	-37,43
0,59	4,21	2,12	0,86	0,72	-0,99
0,52	5,57	1,02	0,91	0,49	-4,44
0,70	5,07	0,02	0,86	-35,55	-263,76
1,38	3,38	4,36	0,59	0,68	0,22
2,00	3,02	0,88	0,34	-1,29	-2,45
1,68	1,26	0,31	-0,34	-4,34	-3,00
4,17	3,13	5,19	-0,33	0,20	0,40
3,23	4,80	4,07	0,33	0,21	-0,18
2,27	4,42	3,82	0,49	0,41	-0,16
1,84	2,07	3,13	0,11	0,41	0,34
4,24	0,99	1,21	-3,30	-2,49	0,19
1,92	1,89	1,61	-0,02	-0,19	-0,17
1,23	1,27	1,57	0,03	0,22	0,19
0,60	1,05	1,67	0,43	0,64	0,37
0,37	2,51	2,01	0,85	0,82	-0,25
2,83	2,59	3,68	-0,09	0,23	0,30
3,60	4,04	7,18	0,11	0,50	0,44
0,83	3,52	0,79	0,76	-0,05	-3,46
0,25	0,97	1,68	0,74	0,85	0,42
0,88	0,55	1,53	-0,59	0,43	0,64
0,04	1,35	3,54	0,97	0,99	0,62
0,89	0,30	2,70	-1,96	0,67	0,89
2,92	1,71	1,16	-0,71	-1,51	-0,47
1,17	3,29	4,66	0,65	0,75	0,29
0,26	0,87	0,51	0,70	0,49	-0,70
1,49	4,06	0,48	0,63	-2,09	-7,41
2,10	2,87	0,34	0,27	-5,16	-7,40
0,62	4,80	1,75	0,87	0,65	-1,75
0,80	2,31	0,10	0,65	-7,05	-22,28
0,15	3,39	0,09	0,95	-0,76	-37,77
0,69	2,44	2,79	0,72	0,75	0,12
0,02	7,14	6,44	1,00	1,00	-0,11
0,42	0,79	0,34	0,47	-0,22	-1,31
0,66	0,09	0,77	-5,99	0,15	0,88
2,36	3,11	1,27	0,24	-0,86	-1,45
0,19	3,50	1,81	0,95	0,90	-0,93

0,22	2,21	2,88	0,90	0,92	0,23
1,23	2,03	1,79	0,40	0,31	-0,14
1,03	2,41	1,89	0,57	0,45	-0,28
0,35	4,23	5,09	0,92	0,93	0,17
0,45	0,75	1,69	0,40	0,73	0,56
0,45	0,99	4,75	0,55	0,91	0,79
1,58	0,46	1,42	-2,46	-0,12	0,68
1,06	2,85	2,44	0,63	0,56	-0,17
1,57	0,83	0,18	-0,89	-7,91	-3,70
0,35	0,19	0,26	-0,88	-0,38	0,26
0,09	0,29	0,01	0,70	-10,47	-37,47
0,93	1,38	1,18	0,33	0,21	-0,17
0,49	0,75	0,16	0,35	-2,03	-3,67
0,20	1,81	3,68	0,89	0,94	0,51
0,78	3,25	6,58	0,76	0,88	0,51
2,56	1,80	2,14	-0,42	-0,19	0,16
0,05	0,40	1,08	0,86	0,95	0,63
0,04	0,30	3,77	0,87	0,99	0,92
0,64	3,16	0,17	0,80	-2,79	-17,70
1,36	0,35	0,49	-2,84	-1,80	0,27
1,46	1,12	3,54	-0,31	0,59	0,68
2,77	1,62	2,73	-0,70	-0,01	0,41
1,31	0,99	0,47	-0,32	-1,77	-1,10
0,42	0,09	4,83	-3,39	0,91	0,98
1,79	4,28	1,22	0,58	-0,47	-2,52
0,72	2,23	4,36	0,68	0,84	0,49
4,04	3,92	5,79	-0,03	0,30	0,32
0,06	0,04	1,33	-0,63	0,95	0,97
3,74	0,40	0,06	-8,41	-64,30	-5,94
0,15	0,17	4,29	0,17	0,97	0,96
1,35	1,72	1,35	0,21	0,00	-0,27
1,93	4,37	4,44	0,56	0,57	0,01
4,08	4,07	4,07	0,00	0,00	0,00
6,00	6,00	6,00	0,00	0,00	0,00
5,20	5,20	5,20	0,00	0,00	0,00
5,88	5,88	5,88	0,00	0,00	0,00
0,55	5,62	4,86	0,90	0,89	-0,16
0,88	0,26	0,91	-2,41	0,03	0,72
2,29	0,39	4,21	-4,81	0,46	0,91

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

2,15	4,71	5,59	0,54	0,62	0,16
2,36	2,09	0,54	-0,13	-3,39	-2,89
1,48	1,76	5,99	0,16	0,75	0,71
0,48	5,49	2,35	0,91	0,80	-1,34
1,06	1,17	4,02	0,09	0,74	0,71
0,45	1,79	0,98	0,75	0,54	-0,83

10.4. Skill Score for RMSE (1-min GHI)

RMSE _{0d} (kWh/m ²)	RMSE _{1d} (kWh/m ²)	RMSE _{2d} (kWh/m ²)	S _{0d}	S _{1d}	S _{2d}	S ₀₁	S ₀₂	S ₁₂
9,11	57,29	124,30	-11,83	-3,38	-0,47	0,84	0,93	0,54
29,66	149,28	20,55	0,07	-2,06	0,21	0,80	-	-6,26
61,39	122,74	118,77	0,07	-1,04	0,86	0,50	0,48	-0,03
10,27	14,06	11,69	-10,45	-2,91	-1,47	0,27	0,12	-0,20
14,86	11,32	15,22	-5,07	-5,12	0,18	-0,31	0,02	0,26
9,95	27,63	13,46	-3,31	-3,20	0,48	0,64	0,26	-1,05
49,09	33,42	12,99	0,55	0,68	0,86	-0,47	-	-1,57
29,49	34,40	25,60	-2,89	-5,14	-3,67	0,14	-	-0,34
39,95	28,80	29,59	-15,30	-6,15	-2,21	-0,39	-	0,03
5,25	6,20	126,61	-5,64	-2,57	-0,64	0,15	0,96	0,95
4,86	126,13	191,19	-3,48	-3,04	-0,93	0,96	0,97	0,34
114,52	175,23	106,52	0,04	-3,52	0,48	0,35	-	-0,65
175,57	93,97	59,91	-19,34	-0,03	0,24	-0,87	-	-0,57
86,05	70,40	86,97	0,05	-0,04	0,71	-0,22	1,93	0,19
20,58	105,15	153,14	0,12	-0,83	0,52	0,80	0,01	0,31
85,50	138,97	103,38	-2,31	0,44	-4,78	0,38	0,87	-0,34
30,35	188,40	146,40	0,46	0,29	0,88	0,38	0,17	-0,29
57,65	145,19	78,89	-7,52	-25,88	-2,36	0,84	0,27	-0,84
118,71	102,44	123,96	-7,70	-2,91	-1,83	0,60	0,04	0,17
95,87	128,96	129,02	-6,47	-1,85	0,65	-0,16	0,26	0,00
38,55	38,68	47,27	-0,50	-0,20	-2,19	0,26	0,00	0,18
14,74	39,73	43,28	-0,76	-1,09	-0,11	0,00	0,18	0,08
68,87	86,99	106,17	-4,74	-3,60	-4,65	0,63	0,66	0,18
84,67	132,87	128,79	-2,05	-0,18	0,85	0,21	0,35	-0,03
44,98	125,65	181,99	-2,37	-2,78	-0,08	0,36	0,34	0,31
102,07	153,38	153,63	-2,37	-2,78	-0,08	0,64	0,75	0,31
99,72	92,42	89,52	-3,97	-3,01	-2,08	0,33	0,34	0,00
144,21	148,99	125,29	-4,67	-6,07	-0,87	-0,08	-	-0,03
167,10	167,08	105,99	-0,92	-15,18	-0,57	0,03	-	-0,19
140,78	131,02	65,95	-34,50	-34,63	0,99	0,00	-	-0,58
111,58	78,74	86,37	-4,30	-4,07	-2,85	-0,07	-	-0,99
89,82	27,73	29,92	-12,70	-2,44	0,58	-0,42	-	0,09
			-6,20	-3,82	-2,03	-2,24	-	0,07

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

7,98	80,41	26,76	-10,03	-4,18	-0,93	0,90	0,70	-2,00
137,39	33,86	169,34	-4,42	-4,48	0,53	-3,06	0,19	0,80
60,34	163,75	81,99	-13,78	-6,13	-3,53	0,63	0,26	-1,00
98,59	118,84	121,68	-2,17	-4,18	-0,64	0,17	0,19	0,02
112,04	80,29	198,86	-3,24	-7,96	0,00	-0,40	0,44	0,60
85,42	115,56	94,63	-0,28	-2,07	0,24	0,26	0,10	-0,22
43,11	141,29	245,30	-1,64	-17,02	-2,48	0,69	0,82	0,42
39,78	235,69	142,27	-7,39	0,08	0,11	0,83	0,72	-0,66
86,37	99,42	168,94	-10,92	-0,22	0,20	0,13	0,49	0,41
147,65	117,50	78,88	-14,63	-0,10	0,70	-0,26	-	0,87
27,86	22,22	7,93	-46,00	-258,64	0,74	-0,25	-	2,51
10,29	29,73	67,93	-82,76	-6,51	-1,88	0,65	0,85	0,56
9,97	68,59	60,52	-102,41	0,34	0,63	0,85	0,84	-0,13
73,69	46,86	104,77	-2,32	0,39	-0,83	-0,57	0,30	0,55
71,48	99,17	74,39	-25,87	-7,99	0,44	0,28	0,04	-0,33
101,50	101,83	99,71	-6,34	-0,05	0,24	0,00	-	0,02
73,32	65,28	90,51	-6,64	-5,26	-0,92	-0,12	0,19	0,28
41,96	83,86	41,34	-1,01	-3,72	-0,49	0,50	-	0,01
41,86	21,97	22,70	-0,14	-0,05	0,24	-0,91	-	0,84
11,32	11,06	110,02	-0,54	-0,15	0,52	-0,02	0,90	0,90
6,67	54,77	33,02	0,14	-14,31	0,63	0,88	0,80	-0,66
55,70	55,99	62,87	-5,45	0,07	0,52	0,01	0,11	0,11
121,52	32,63	118,62	-0,44	-0,79	0,17	-2,72	-	0,02
53,37	219,51	153,20	-3,04	-3,82	0,77	0,76	0,65	-0,43
160,61	182,99	189,88	-1,17	0,40	-0,76	0,12	0,15	0,04
120,56	167,23	147,26	0,23	0,02	0,86	0,28	0,18	-0,14
145,93	141,06	92,66	0,67	0,68	0,74	-0,03	-	0,57
180,95	166,14	93,23	0,00	-4,04	-1,22	-0,09	-	0,94
144,76	111,12	219,55	-2,67	-40,62	0,08	-0,30	0,34	0,49
108,48	270,71	91,20	-0,74	-19,88	-3,79	0,60	-	0,19
177,06	139,64	177,07	-2,46	-6,93	-0,57	-0,27	0,00	0,21
82,48	59,50	147,80	-2,08	-1,24	0,71	-0,39	0,44	0,60
91,61	128,94	91,69	-0,67	-4,99	-0,08	0,29	0,00	-0,41
46,22	148,78	30,25	-251,54	-128,60	1,00	0,69	-	0,53
136,77	60,77	82,91	-1,96	-0,30	-0,08	-1,25	-	0,65
					-0,27			
230,50	240,21	228,71	-0,17	-3,05	0,57	0,04	-	0,01
179,95	219,07	97,09	-2,48	0,34	0,15	0,18	-	-1,26

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

							0,85	
284,49	158,99	221,03	-0,19	-0,35	0,78	-0,79	-	0,29
150,35	157,08	213,87	0,29	0,81	0,96	0,04	0,30	0,27
112,62	85,21	260,44	-4,21	-1,10	-0,09	-0,32	0,57	0,67
140,46	293,81	187,76	-2,26	-21,48	-0,11	0,52	0,25	-0,56
219,76	150,30	145,44	-3,05	-1,01	-0,02	-0,46	-	0,51
133,05	131,39	165,39	-23,62	-8,78	-0,71	-0,01	0,20	0,21
161,01	95,91	77,41	-7,68	-1,43	0,41	-0,68	-	1,08
154,09	163,60	182,25	-2,86	-0,76	-0,33	0,06	0,15	0,10
185,60	192,67	258,83	-3,96	-0,95	-0,04	0,04	0,28	0,26
278,33	281,93	216,28	-2,15	-0,82	0,56	0,01	-	0,29
143,50	169,14	142,44	-2,87	-1,28	0,24	0,15	0,01	-0,19
184,90	126,42	125,41	-0,10	0,32	0,80	-0,46	-	0,47
154,73	120,13	136,29	-0,51	0,91	0,94	-0,29	0,14	0,12
82,12	70,97	237,73	-3,60	-3,15	-0,55	-0,16	0,65	0,70
94,84	289,20	167,61	-19,10	-4,21	-2,56	0,67	0,43	-0,73
272,38	156,25	320,83	-6,80	-12,62	-1,28	-0,74	0,15	0,51
197,30	282,85	274,96	-6,58	-7,07	-1,74	0,30	0,28	-0,03
187,68	164,70	217,17	-21,33	-5,40	-0,38	-0,14	0,14	0,24
203,94	180,50	218,63	-1,72	-0,04	-0,01	-0,13	0,07	0,17
176,44	165,42	247,75	-6,58	-0,18	0,75	-0,07	0,29	0,33
200,34	243,02	199,90	-0,28	-0,66	-3,75	0,18	0,00	-0,22
53,54	302,46	155,59	-0,06	-0,83	0,57	0,82	0,66	-0,94
191,28	100,15	133,67	-1,36	-0,29	0,70	-0,91	-	0,43
107,95	173,79	130,91	0,14	0,41	0,67	0,38	0,18	-0,33
158,81	276,53	204,61	0,50	0,45	0,97	0,43	0,22	-0,35
230,12	248,22	256,85	-0,83	-4,92	-0,09	0,07	0,10	0,03
211,72	318,93	85,46	-0,05	-9,56	-5,80	0,34	-	1,48
151,29	216,65	166,34	-0,69	-12,61	-1,04	0,30	0,09	-0,30
144,77	232,89	143,63	-2,72	-5,85	-1,79	0,38	-	0,01
243,94	115,89	175,56	-2,79	-4,89	-0,31	-1,10	0,39	0,34
97,64	100,04	99,40	-1,80	-3,08	-1,04	0,02	0,02	-0,01
168,47	211,48	143,04	-1,15	-3,19	0,11	0,20	-	0,18
207,50	185,04	212,88	-0,01	-0,85	-2,08	-0,12	0,03	-0,48
225,97	173,54	178,30	-1,35	-0,37	-1,72	-0,30	-	0,27
175,99	207,03	206,61	-1,02	-0,70	0,60	0,15	0,15	0,03
205,86	198,93	183,27	-0,25	-0,18	0,30	-0,03	-	0,12

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

288,27	86,97	256,52	-0,07	0,28	0,39	-2,31	-	0,12	0,66
86,81	330,50	210,96	-0,56	-7,66	0,40	0,74	0,59	0,59	-0,57
197,57	171,09	220,94	-3,21	0,11	0,64	-0,15	0,11	0,11	0,23
233,04	214,54	247,97	-0,32	0,28	0,83	-0,09	0,06	0,06	0,13
178,70	318,57	174,09	-1,91	-0,20	-0,05	0,44	-	0,03	-0,83
237,98	256,76	340,66	-7,82	-8,53	0,87	0,07	0,30	0,30	0,25
194,52	242,47	142,87	-43,56	0,26	0,87	0,20	-	0,36	-0,70
118,29	172,00	150,58	0,85	0,06	0,92	0,31	0,21	0,21	-0,14
215,62	243,31	175,84	0,46	-1,60	1,00	0,11	-	0,23	-0,38
165,57	174,63	227,79	-6,65	-0,73	0,90	0,05	0,27	0,27	0,23
265,20	154,57	244,14	-12,33	-5,27	-0,39	-0,72	-	0,09	0,37
115,06	303,09	112,50	-2,66	-3,29	-0,41	0,62	-	0,02	-1,69
228,09	202,43	215,68	-1,36	-4,02	-1,57	-0,13	-	0,06	0,06
65,28	290,55	198,64	-21,69	0,28	0,94	0,78	0,67	0,67	-0,46
253,20	232,72	78,35	-10,85	-0,12	-0,83	-0,09	-	2,23	-1,97
243,92	35,75	192,42	-7,80	-0,10	-1,04	-5,82	-	0,27	0,81
38,22	196,34	302,42	-3,86	-1,87	-0,60	0,81	0,87	0,87	0,35
149,65	109,58	258,87	-1,26	-0,91	-0,10	-0,37	0,42	0,42	0,58
267,97	283,96	152,17	-6,44	-1,26	-0,76	0,06	-	0,76	-0,87
238,50	99,72	237,93	-0,70	-2,06	0,05	-1,39	0,00	0,00	0,58
65,12	285,72	121,83	-38,69	0,03	0,98	0,77	0,47	0,47	-1,35
301,67	248,11	241,07	-2,91	-0,77	0,98	-0,22	-	0,25	-0,03
195,44	297,87	265,07	-13,07	-33,11	0,86	0,34	0,26	0,26	-0,12
303,25	344,54	269,97	-1,66	-0,35	0,81	0,12	-	0,12	-0,28
260,58	287,47	241,56	0,02	-1,26	0,92	0,09	-	0,08	-0,19
250,75	317,64	300,41	-30,62	0,63	0,99	0,21	0,17	0,17	-0,06
187,89	172,07	318,99	-0,09	-0,01	0,38	-0,09	0,41	0,41	0,46
259,37	178,19	153,60	0,47	0,54	0,93	-0,46	-	0,69	-0,16
121,66	83,46	106,47	0,19	-4,12	0,21	-0,46	-	0,14	0,22
167,00	220,48	187,55	-21,56	-4,25	-0,89	0,24	0,11	0,11	-0,18
62,06	186,67	145,67	-10,83	-3,03	0,81	0,67	0,57	0,57	-0,28
210,96	148,22	74,69	-0,95	-0,64	0,58	-0,42	-	1,82	-0,98
62,01	120,23	43,76	-1,11	-0,34	0,19	0,48	-	0,42	-1,75
110,60	19,60	310,19	-2,46	0,55	0,43	-4,64	0,64	0,64	0,94
13,43	177,67	54,27	-0,07	0,13	0,03	0,92	0,75	0,75	-2,27

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

126,37	97,23	34,47	-1,91	-1,89	0,98	-0,30	-	2,67	-1,82
85,62	47,45	46,24	-11,64	-2,39	-0,47	-0,80	-	0,85	-0,03
25,73	26,42	27,16	-0,02	0,06	-0,24	0,03	-	0,05	0,03
12,88	13,66	19,83	0,19	0,63	0,45	0,06	-	0,35	0,31
11,65	21,30	134,49	-0,46	0,30	-0,01	0,45	-	0,91	0,84
16,17	98,62	255,75	-1,76	-0,58	-2,14	0,84	-	0,94	0,61
241,82	361,17	131,01	-2,06	-3,09	0,83	0,33	-	0,85	-1,76
210,63	306,54	308,23	-0,75	0,05	0,87	0,31	-	0,32	0,01
240,18	221,19	117,41	-0,92	-14,62	-1,93	-0,09	-	1,05	-0,88
245,63	100,08	168,31	-1,63	-0,20	0,14	-1,45	-	0,46	0,41
94,21	138,84	103,10	0,24	0,29	-0,74	0,32	-	0,09	-0,35
189,44	265,35	259,83	-1,93	-4,25	-0,48	0,29	-	0,27	-0,02
90,70	90,97	57,65	-2,49	-1,56	0,09	0,00	-	0,57	-0,58
46,30	80,49	49,94	0,11	0,64	0,52	0,42	-	0,07	-0,61
85,78	51,82	54,46	-1,86	-0,51	-0,91	-0,66	-	0,58	0,05
72,14	72,75	226,70	0,47	0,45	0,79	0,01	-	0,68	0,68
33,83	161,61	33,70	-0,29	-0,70	-0,12	0,79	-	0,00	-3,79
191,34	100,61	81,53	-1,34	-1,57	0,54	-0,90	-	1,35	-0,23
93,34	86,91	200,29	-5,01	-1,06	-1,14	-0,07	-	0,53	0,57
137,32	164,37	149,99	-6,34	-34,51	-1,13	0,16	-	0,08	-0,10
144,88	160,78	169,99	0,16	-12,00	-2,80	0,10	-	0,15	0,05
102,09	131,37	128,22	-0,11	-4,59	0,73	0,22	-	0,20	-0,02
126,08	88,45	74,48	-112,09	-306,96	0,40	-0,43	-	0,69	-0,19
133,23	131,90	127,69	-3,69	-3,08	-0,71	-0,01	-	0,04	-0,03
51,24	32,21	48,27	-0,18	0,15	-0,05	-0,59	-	0,06	0,33
5,05	5,11	5,22	-0,78	-0,04	-0,39	0,01	-	0,03	0,02
16,53	16,23	16,04	-4,41	-1,99	-3,01	-0,02	-	0,03	-0,01
6,12	6,29	6,59	-0,48	0,43	0,55	0,03	-	0,07	0,05
4,90	5,14	55,24	-1,32	-1,75	0,44	0,05	-	0,91	0,91
12,96	19,99	21,28	-0,57	-0,64	-0,51	0,35	-	0,39	0,06
79,36	80,02	85,68	-3,38	0,16	-0,94	0,01	-	0,07	0,07
23,49	13,21	34,01	0,10	0,27	0,11	-0,78	-	0,31	0,61
33,38	112,75	195,54	0,75	0,69	0,93	0,70	-	0,83	0,42
199,76	138,42	121,33	0,02	0,31	0,40	-0,44	-	0,65	-0,14
182,54	11,50	27,18	-0,52	-0,04	-0,87	14,88	-	5,71	0,58
9,70	9,57	9,43	-0,58	-0,59	0,67	-0,01	-	-	-0,02

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

							0,03	
10,40	10,16	21,11	0,31	0,30	0,93	-0,02	0,51	0,52
6,61	8,11	6,83	0,44	-1,51	0,64	0,18	0,03	-0,19
12,88	13,16	13,69	0,59	0,63	0,69	0,02	0,06	0,04
10,02	9,55	9,17	-5,06	-5,03	0,94	-0,05	-	0,09
18,80	18,38	17,82	-2,97	-8,90	-4,03	-0,02	-	0,06
14,71	14,24	13,95	-0,38	-0,50	-2,45	-0,03	-	0,05
11,81	11,45	65,02	-0,36	-0,50	-3,35	-0,03	-	0,82
77,64	77,15	63,24	0,03	-1,41	-3,15	-0,01	-	0,23
82,43	41,53	44,49	-13,07	-0,18	0,31	-0,99	-	0,85
42,36	52,51	51,90	-1,74	-5,21	-4,87	0,19	-	0,18
40,53	38,38	34,34	-0,05	-1,62	-0,12	-0,06	-	0,18
110,57	116,18	118,40	-2,15	-0,20	-0,89	0,05	-	0,07
9,56	26,45	76,82	0,09	-0,36	-6,64	0,64	-	0,88
23,99	80,96	63,12	0,00	-0,49	-3,13	0,70	-	0,62
62,48	25,34	57,24	-5,63	-0,61	-8,50	-1,47	-	0,09
13,66	11,71	16,62	0,28	-9,00	-3,75	-0,17	-	0,18
9,17	6,59	6,32	-0,27	-4,44	-8,10	-0,39	-	0,45
24,78	9,90	16,84	0,07	-9,63	-3,09	-1,50	-	0,47
15,76	32,35	18,78	-5,95	-55,57	0,18	0,51	-	0,16
11,31	25,90	103,51	-0,74	-1,24	-3,34	0,56	-	0,89
30,43	53,60	37,06	0,07	-0,45	-0,12	0,43	-	0,18
140,10	141,20	155,95	-15,21	-12,78	-1,29	0,01	-	0,10
16,11	15,31	14,31	-0,87	-2,94	-2,12	-0,05	-	0,13
10,93	10,49	10,16	-0,45	-1,62	-1,77	-0,04	-	0,08
10,67	10,35	10,16	0,03	-0,55	0,79	-0,03	-	0,05
14,59	13,77	12,96	-0,08	-0,02	0,80	-0,06	-	0,13
9,43	8,77	8,20	-17,25	-25,40	-6,41	-0,08	-	0,15
8,17	7,69	25,55	-4,64	-10,91	0,45	-0,06	-	0,68
10,68	8,03	9,25	-2,04	-4,25	-6,26	-0,33	-	0,15
11,15	11,14	13,24	0,05	-5,16	-4,27	0,00	-	0,16

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

52,31	21,97	17,09	-1,00	-16,23	-0,59	-1,38	-	2,06 -0,29
6,93	11,64	24,21	-6,81	-0,32	-1,99	0,40	0,71	0,52
17,18	25,19	23,82	-1,62	-0,11	0,17	0,32	0,28	-0,06
17,48	9,31	10,67	0,21	-0,22	-1,07	-0,88	-	0,64 0,13
29,06	28,02	28,80	-0,78	-1,44	-0,60	-0,04	-	0,01 0,03
11,41	11,19	9,39	0,20	-2,32	-0,44	-0,02	-	0,21 -0,19
55,35	63,58	66,27	-2,66	-1,98	-6,99	0,13	0,16	0,04
78,90	75,79	84,12	-1,26	-24,17	-0,39	-0,04	0,06	0,10
93,18	77,40	76,99	-6,87	-2,15	-0,93	-0,20	-	0,21 -0,01
13,59	12,09	10,65	-0,05	-0,82	-1,38	-0,12	-	0,28 -0,13
9,74	10,17	10,71	0,19	-1,09	-0,29	0,04	0,09	0,05
10,41	10,91	11,98	0,26	0,07	0,17	0,05	0,13	0,09
7,92	8,38	72,49	0,22	-0,50	-5,15	0,05	0,89	0,88
17,18	11,21	14,39	-0,02	-7,09	-4,10	-0,53	-	0,19 0,22
165,07	27,52	26,42	-3,32	-0,81	-1,01	-5,00	-	5,25 -0,04
63,65	21,27	23,07	-3,04	-12,39	-1,16	-1,99	-	1,76 0,08
40,24	38,23	37,40	-1,01	-0,62	-0,34	-0,05	-	0,08 -0,02
112,41	14,59	34,55	-3,14	-0,82	-3,02	-6,71	-	2,25 0,58
54,32	38,41	43,36	0,02	-5,09	-11,52	-0,41	-	0,25 0,11
54,18	56,07	53,86	-0,93	-1,14	-0,74	0,03	-	0,01 -0,04
45,43	24,68	31,66	-5,43	-11,18	-2,98	-0,84	-	0,44 0,22
28,69	31,67	83,51	-4,87	-3,34	-13,01	0,09	0,66	0,62
23,15	73,61	6,95	0,21	-35,85	-2,74	0,69	-	2,33 -9,60
91,73	122,41	134,41	-2,04	-11,77	-5,73	0,25	0,32	0,09
10,22	16,10	14,19	-0,83	-26,94	-6,37	0,37	0,28	-0,13
7,38	8,03	9,35	0,29	-1,56	-1,44	0,08	0,21	0,14
8,38	9,19	19,79	0,10	-0,38	-3,85	0,09	0,58	0,54
16,99	14,80	14,00	0,11	-7,60	-4,25	-0,15	-	0,21 -0,06
79,73	38,09	40,14	-11,39	-10,80	-2,61	-1,09	-	0,99 0,05

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

45,65	48,12	140,14	0,18	-4,17	-2,10	0,05	0,67	0,66
42,59	45,41	46,15	-9,62	-8,79	-15,12	0,06	0,08	0,02
29,54	32,63	202,53	-44,84	-1,96	-4,89	0,09	0,85	0,84
60,20	260,89	220,08	0,01	-6,93	0,66	0,77	0,73	-0,19
193,23	193,19	231,55	-0,03	-0,14	-0,98	0,00	0,17	0,17
180,54	181,36	88,48	-0,12	-11,35	-3,82	0,00	-	1,04
								-1,05
241,62	72,69	58,56	-3,05	-16,79	-5,55	-2,32	-	3,13
92,47	71,59	194,37	-5,55	-33,09	0,52	-0,29	0,52	-0,24
147,81	187,77	268,41	0,10	-7,14	-2,26	0,21	0,45	0,63
								0,30
220,00	231,46	194,94	-1,65	-7,34	-1,29	0,05	-	0,13
								-0,19
171,76	160,65	150,36	-1,93	-3,67	-14,06	-0,07	-	0,14
								-0,07
107,30	161,73	113,95	-1,98	-4,99	0,20	0,34	0,06	-0,42
205,08	75,38	205,07	-0,01	-21,01	0,56	-1,72	0,00	0,63
57,24	84,20	100,02	-0,20	-4,90	-1,94	0,32	0,43	0,16
169,68	61,88	275,49	-4,43	-222,59	-1,21	-1,74	0,38	0,78
								-
160,14	189,45	89,69	-2,15	-33,11	-12,60	0,15	0,79	-1,11
								-
174,88	89,20	97,10	-3,60	-25,42	-1,72	-0,96	0,80	0,08
								-
111,37	40,42	34,84	-2,27	-2,77	-8,73	-1,76	2,20	-0,16
13,42	20,94	85,54	-3,59	-9,05	-5,85	0,36	0,84	0,76
35,52	223,67	86,01	0,11	-8,54	-5,96	0,84	0,59	-1,60
96,22	132,07	167,46	0,02	-18,21	-3,60	0,27	0,43	0,21
								-
128,34	133,55	21,36	-7,24	-6,29	-4,02	0,04	5,01	-5,25
217,13	99,63	258,31	-5,36	-8,17	-3,33	-1,18	0,16	0,61
55,92	309,51	74,81	-0,63	-14,34	-3,13	0,82	0,25	-3,14
191,99	136,55	205,86	-5,68	-11,28	-2,22	-0,41	0,07	0,34
47,35	85,59	96,22	-0,97	-46,16	-2,52	0,45	0,51	0,11
								-
102,24	128,05	86,18	-10,43	-9,72	-2,38	0,20	0,19	-0,49
								-
77,55	89,47	50,18	-0,50	-22,69	-5,88	0,13	0,55	-0,78
206,79	91,95	207,48	-5,24	-8,30	-1,25	-1,25	0,00	0,56
								-
92,83	154,27	83,88	-0,08	-14,80	-2,49	0,40	0,11	-0,84
64,96	182,96	139,20	-2,44	-0,14	-4,46	0,64	0,53	-0,31
								-
151,86	196,71	101,82	-0,09	-10,42	-1,69	0,23	0,49	-0,93
								-
178,98	23,62	20,48	0,01	-5,76	-4,81	-6,58	7,74	-0,15
								-
49,65	48,21	45,81	-11,56	-29,77	-2,81	-0,03	0,08	-0,05
18,27	21,11	37,95	-1,09	-3,30	-3,76	0,13	0,52	0,44
15,22	12,74	14,31	0,44	-5,35	-1,97	-0,19	-	0,11

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

							0,06	
15,98	8,25	40,77	-5,46	-9,69	-5,00	-0,94	0,61	0,80
15,41	32,29	41,84	0,22	0,25	-1,76	0,52	0,63	0,23
15,72	72,05	59,97	-1,99	-18,34	-8,94	0,78	0,74	-0,20
126,54	59,77	86,41	-5,03	-3,87	-0,19	-1,12	-	0,46
113,39	175,91	295,26	-7,17	0,16	-17,42	0,36	0,62	0,40
94,27	247,14	96,13	-1,50	-9,23	-4,60	0,62	0,02	-1,57
97,18	134,20	129,70	-4,56	-4,04	-0,58	0,28	0,25	-0,03
118,13	138,98	108,93	-5,42	-1,02	-3,33	0,15	-	0,08
127,87	178,99	203,09	-0,26	-6,71	-8,99	0,29	0,37	0,12
58,54	75,70	166,66	0,53	-22,66	0,52	0,23	0,65	0,55
117,87	152,52	134,87	-15,66	-6,51	-6,18	0,23	0,13	-0,13
167,05	84,32	95,29	-1,50	-7,63	-3,00	-0,98	-	0,75
50,06	46,19	68,64	-5,62	-5,39	-4,07	-0,08	0,27	0,33
53,20	119,08	44,00	0,03	-7,99	-1,96	0,55	-	0,21
134,71	60,81	110,49	0,03	-3,20	-0,17	-1,22	-	0,22
18,41	141,39	26,08	0,57	-4,34	-8,81	0,87	0,29	-4,42
103,04	80,88	59,87	0,15	-6,31	-3,47	-0,27	-	0,72
12,75	148,81	12,19	-0,25	0,19	-4,59	0,91	-	-
49,06	53,54	121,96	-3,23	0,09	-2,24	0,08	0,60	0,56
25,10	244,13	199,21	0,62	-8,53	0,22	0,90	0,87	-0,23
98,09	125,47	131,19	-1,82	-2,91	-0,59	0,22	0,25	0,04
92,74	108,67	110,26	-2,14	-2,02	0,14	0,15	0,16	0,01
201,66	210,79	110,68	-1,84	-52,38	-6,36	0,04	-	0,82
126,28	94,47	121,28	-7,29	-2,71	-0,74	-0,34	-	0,04
108,33	120,96	140,60	-6,85	-1,83	-0,62	0,10	0,23	0,14
49,23	72,86	56,70	-1,76	-3,54	-1,48	0,32	0,13	-0,29
69,37	79,97	112,74	0,26	-17,73	-2,34	0,13	0,38	0,29
20,16	94,01	164,94	-7,79	-13,63	-0,67	0,79	0,88	0,43
116,52	133,28	167,30	-4,08	-0,03	-0,12	0,13	0,30	0,20
68,91	162,76	58,87	-75,33	-218,51	-0,68	0,58	-	0,17
121,13	75,37	117,95	-28,71	-0,79	-1,89	-0,61	-	0,03
76,40	61,99	81,61	-2,05	-29,60	-0,84	-0,23	0,06	0,24
69,75	76,35	72,18	-6,87	-21,21	-1,63	0,09	0,03	-0,06
37,79	36,66	29,00	0,06	-2,33	-0,01	-0,03	-	0,30
13,42	6,60	10,11	-1,76	-1,67	-1,48	-1,03	-	0,33

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

12,88	11,57	10,65	0,07	-0,39	-0,24	-0,11	-	0,21	-0,09
6,27	17,54	9,17	-6,02	-52,11	-2,09	0,64	-	0,32	-0,91
11,51	10,02	7,67	-0,77	-5,09	-8,13	-0,15	-	0,50	-0,31
6,53	24,39	75,92	-2,10	-6,65	-1,79	0,73	-	0,91	0,68
15,84	67,66	169,24	-0,98	-5,80	-1,82	0,77	-	0,91	0,60
90,93	112,65	130,84	-0,21	-0,72	-4,57	0,19	-	0,31	0,14
63,01	72,37	100,28	0,16	-4,57	0,34	0,13	-	0,37	0,28
57,49	55,56	153,76	-22,24	-11,65	-2,67	-0,03	-	0,63	0,64
81,91	90,00	143,32	-14,03	-7,35	0,17	0,09	-	0,43	0,37
90,79	79,19	78,87	-10,49	-2,20	-0,16	-0,15	-	0,15	0,00
104,82	91,29	162,92	-0,75	-2,16	0,04	-0,15	-	0,36	0,44
150,70	81,95	84,39	-2,06	-12,51	-18,32	-0,84	-	0,79	0,03
19,49	14,41	10,70	0,36	-8,19	-0,19	-0,35	-	0,82	-0,35
15,46	10,78	134,28	-121,73	-2,40	0,37	-0,43	-	0,88	0,92
50,11	174,23	68,41	-3,63	-5,92	0,66	0,71	-	0,27	-1,55
105,79	98,32	112,76	-1,01	-0,03	0,65	-0,08	-	0,06	0,13
76,99	71,03	179,61	-0,22	-2,31	-0,12	-0,08	-	0,57	0,60
75,68	83,35	98,90	0,00	-6,03	-0,22	0,09	-	0,23	0,16
114,37	84,95	100,13	-3,75	-2,25	0,38	-0,35	-	0,14	0,15
							-		
91,40	93,98	87,79	-41,51	-12,96	-1,10	0,03	-	0,04	-0,07
90,06	84,29	116,92	-1,53	0,44	0,82	-0,07	-	0,23	0,28
130,68	96,61	130,78	-1,89	-2,27	-0,09	-0,35	-	0,00	0,26
58,87	147,47	177,16	-8,34	-5,70	-0,28	0,60	-	0,67	0,17
79,99	109,08	92,40	-2,28	-5,57	-1,64	0,27	-	0,13	-0,18
							-		
117,02	116,95	116,88	-5,66	-4,81	-0,35	0,00	-	0,00	0,00
212,53	212,43	212,45	-18,44	-12,35	-1,37	0,00	-	0,00	0,00
129,09	129,11	129,11	-1,75	-2,73	0,33	0,00	-	0,00	0,00
155,59	155,58	150,29	-11,83	-7,69	-0,46	0,00	-	0,04	-0,04
56,78	166,22	149,37	-1,99	-2,06	-1,92	0,66	-	0,62	-0,11
37,54	80,42	37,51	-2,95	-2,56	-7,74	0,53	-	0,00	-1,14
65,11	29,54	132,76	-0,50	-0,69	0,62	-1,20	-	0,51	0,78
46,12	128,33	141,34	-8,02	-5,53	-0,15	0,64	-	0,67	0,09
68,84	80,88	98,16	-0,36	-0,66	-0,08	0,15	-	0,30	0,18
							-		
120,74	80,88	57,96	-2,02	-2,59	-0,07	-0,49	-	1,08	-0,40
34,63	43,44	155,97	0,43	0,39	0,52	0,20	-	0,78	0,72
7,47	176,32	86,66	-4,26	-3,56	-0,78	0,96	-	0,91	-1,03
105,70	81,53	88,11	-1,41	-4,63	-1,06	-0,30	-	-	0,07

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

							0,20	
60,53	74,99	61,35	-0,47	-1,16	0,80	0,19	0,01	-0,22
44,61	27,39	63,67	-4,64	-1,31	-0,10	-0,63	0,30	0,57

10.5. Skill Score for RMSE (1-hour GHI)

RMSE _{0d} (W/m ²)	RMSE _{1d} (W/m ²)	RMSE _{2d} (W/m ²)	S _{0d}	S _{1d}	S _{2d}	S ₀₁	S ₀₂	S ₁₂
8,30	50,71	110,53	-0,05	-0,83	0,16	0,84	0,92	0,54
25,15	143,51	19,31	-0,69	-3,69	-0,06	0,82	-0,30	-6,43
48,77	124,23	120,03	-2,06	-5,15	-0,65	0,61	0,59	-0,04
					0,41			
9,65	13,84	11,13	0,09	0,16	-0,02	0,30	0,13	-0,24
14,29	10,22	14,24	-0,21	-0,02	-0,07	-0,40	0,00	0,28
7,95	20,01	12,03	-0,54	-0,62	-0,01	0,60	0,34	-0,66
42,98	15,98	11,25	-0,20	0,42	0,19	-1,69	-2,82	-0,42
25,16	23,94	25,19	-0,33	-0,51	-0,06	-0,05	0,00	0,05
29,11	21,04	22,11	-1,05	0,11	0,02	-0,38	-0,32	0,05
5,02	6,01	117,56	0,45	0,53	0,12	0,16	0,96	0,95
4,54	117,36	187,48	0,38	-2,31	0,02	0,96	0,98	0,37
100,99	172,46	95,28	-1,81	-4,29	0,04	0,41	-0,06	-0,81
171,64	76,59	47,30	-3,51	-0,87	0,17	-1,24	-2,63	-0,62
66,93	59,67	66,91	-0,28	0,01	0,42	-0,12	0,00	0,11
10,12	93,55	137,83	0,37	-1,11	0,26	0,89	0,93	0,32
68,07	134,73	95,78	-1,29	-2,02	0,20	0,49	0,29	-0,41
24,43	187,19	141,02	-1,46	-8,90	-0,76	0,87	0,83	-0,33
37,65	136,86	56,58	0,06	-1,41	0,40	0,72	0,33	-1,42
91,68	82,60	98,30	-0,64	-0,48	0,55	-0,11	0,07	0,16
80,77	121,32	121,30	-0,37	-0,99	0,52	0,33	0,33	0,00
30,87	30,74	38,90	-0,24	-0,26	-0,16	0,00	0,21	0,21
7,35	33,92	33,24	0,24	-4,33	-1,67	0,78	0,78	-0,02
54,07	66,05	99,27	-1,52	-1,29	-0,05	0,18	0,46	0,33
55,46	128,49	119,93	-0,21	-0,74	0,48	0,57	0,54	-0,07
31,68	108,17	169,03	0,05	-1,47	0,31	0,71	0,81	0,36
78,76	147,71	146,84	-0,52	-1,81	0,27	0,47	0,46	-0,01
90,56	88,53	83,80	-1,98	-1,27	0,02	-0,02	-0,08	-0,06
139,54	145,37	120,43	-1,66	-1,95	0,31	0,04	-0,16	-0,21
155,89	155,85	78,56	-1,78	-1,80	0,27	0,00	-0,98	-0,98
119,85	109,86	53,53	-1,24	-1,17	0,28	-0,09	-1,24	-1,05
95,92	42,71	68,34	-1,20	0,12	0,24	-1,25	-0,40	0,38
74,96	23,53	26,08	-2,97	0,06	-0,34	-2,19	-1,87	0,10
					-0,31			
6,97	73,30	25,93	-0,90	-3,66	-0,74	0,90	0,73	-1,83
125,58	25,22	150,87	-2,43	0,09	0,12	-3,98	0,17	0,83
37,18	142,32	61,83	-1,19	-4,36	-0,24	0,74	0,40	-1,30
60,32	58,85	105,48	-1,04	-1,21	0,09	-0,02	0,43	0,44
79,00	63,70	192,79	-0,50	-0,27	0,36	-0,24	0,59	0,67
66,37	103,93	77,28	-0,23	-0,91	0,48	0,36	0,14	-0,34
42,60	137,75	242,30	-1,94	-5,54	-0,69	0,69	0,82	0,43

34,25	233,72	127,02	-0,57	-4,49	0,08	0,85	0,73	-0,84
80,54	85,85	165,38	-1,37	-1,76	0,09	0,06	0,51	0,48
128,18	69,08	56,18	-0,83	-0,41	0,47	-0,86	-1,28	-0,23
26,59	21,30	5,55	0,06	-0,75	-0,13	-0,25	-3,79	-2,84
8,88	27,99	57,99	0,40	-1,26	-0,36	0,68	0,85	0,52
8,67	63,58	53,80	0,58	-1,14	-0,22	0,86	0,84	-0,18
68,37	43,79	86,52	0,03	0,17	0,45	-0,56	0,21	0,49
33,72	72,20	51,35	0,06	-0,28	0,33	0,53	0,34	-0,41
49,23	82,80	79,71	0,08	0,16	0,99	0,41	0,38	-0,04
40,14	35,24	67,10	0,04	0,08	0,97	-0,14	0,40	0,47
28,20	75,64	26,35	0,10	0,12	0,95	0,63	-0,07	-1,87
37,05	11,77	13,09	0,15	0,37	0,90	-2,15	-1,83	0,10
10,09	9,80	65,12	0,25	0,36	0,86	-0,03	0,85	0,85
6,24	54,02	30,86	0,18	-0,24	0,80	0,88	0,80	-0,75
36,90	37,30	45,68	-0,22	-0,16	0,68	0,01	0,19	0,18
106,61	31,71	102,87	-0,23	-0,02	0,68	-2,36	-0,04	0,69
48,56	202,13	137,67	-0,33	-0,82	0,67	0,76	0,65	-0,47
155,84	169,46	170,39	-1,01	-0,72	0,59	0,08	0,09	0,01
105,53	132,58	110,10	-0,11	-2,83	0,49	0,20	0,04	-0,20
127,05	116,00	64,18	-1,06	-1,21	0,39	-0,10	-0,98	-0,81
150,37	147,66	57,57	-0,53	-0,48	0,57	-0,02	-1,61	-1,56
109,62	81,42	200,86	-0,01	-0,02	0,97	-0,35	0,45	0,59
69,11	254,34	36,72	0,23	-0,16	0,93	0,73	-0,88	-5,93
161,77	127,86	167,88	-0,14	0,10	0,89	-0,27	0,04	0,24
67,89	37,45	130,75	0,28	0,16	0,76	-0,81	0,48	0,71
68,28	84,82	77,39	-0,40	-0,60	0,54	0,19	0,12	-0,10
36,85	138,74	22,24	-0,61	-1,20	0,50	0,73	-0,66	-5,24
111,96	46,34	81,29	-1,38	-0,58	0,44	-1,42	-0,38	0,43
220,27	208,27	203,20	-1,84	-1,59	0,38	-0,06	-0,08	-0,02
171,16	198,64	77,88	-1,82	-1,53	0,32	0,14	-1,20	-1,55
277,77	146,45	203,31	-2,10	-0,99	0,37	-0,90	-0,37	0,28
143,65	134,67	194,07	-1,41	-0,98	0,23	-0,07	0,26	0,31
77,91	65,54	252,34	-0,77	-0,85	0,32	-0,19	0,69	0,74
110,14	282,73	163,49	-0,62	-2,65	0,40	0,61	0,33	-0,73
206,04	137,06	124,13	-1,20	-0,78	0,43	-0,50	-0,66	-0,10
116,81	95,78	131,91	-0,71	-0,83	0,40	-0,22	0,11	0,27
117,18	65,72	55,68	-1,14	-0,10	0,22	-0,78	-1,10	-0,18
122,13	124,42	167,84	-0,28	-0,49	0,50	0,02	0,27	0,26
163,52	144,36	246,40	-0,12	-0,17	0,63	-0,13	0,34	0,41
272,83	273,95	191,70	-2,45	-2,31	0,33	0,00	-0,42	-0,43
90,29	116,90	92,65	0,23	0,01	0,61	0,23	0,03	-0,26
164,97	82,06	99,66	-1,05	-0,34	0,37	-1,01	-0,66	0,18
119,88	83,61	101,73	-0,16	-0,10	0,50	-0,43	-0,18	0,18
72,93	57,19	216,70	-1,06	-0,21	0,23	-0,28	0,66	0,74

41,08	262,22	131,42	-1,02	-4,81	-0,26	0,84	0,69	-1,00
240,26	127,14	309,86	-1,09	-0,70	0,50	-0,89	0,22	0,59
176,16	270,18	258,09	-1,91	-3,14	0,17	0,35	0,32	-0,05
172,20	144,71	206,97	-0,58	-0,38	0,52	-0,19	0,17	0,30
148,01	105,44	168,91	-2,34	-2,29	-0,11	-0,40	0,12	0,38
144,03	139,99	231,06	-0,32	-0,20	0,53	-0,03	0,38	0,39
120,63	202,63	151,23	0,08	-0,36	0,64	0,40	0,20	-0,34
48,39	285,43	136,18	-0,66	-5,88	-0,44	0,83	0,64	-1,10
153,22	49,71	120,80	-0,97	0,33	0,45	-2,08	-0,27	0,59
76,88	141,95	108,98	-0,22	-0,96	0,37	0,46	0,29	-0,30
117,35	266,27	197,34	-2,65	-5,86	-0,51	0,56	0,41	-0,35
168,21	202,15	206,41	-0,67	-0,46	0,57	0,17	0,19	0,02
180,81	309,86	59,91	-1,09	-2,47	0,34	0,42	-2,02	-4,17
144,16	210,23	117,37	-1,70	-2,36	0,07	0,31	-0,23	-0,79
103,51	208,45	99,90	-0,50	-1,41	0,26	0,50	-0,04	-1,09
228,02	103,67	147,91	-1,62	-0,10	0,38	-1,20	-0,54	0,30
59,30	59,33	61,73	0,02	0,10	0,98	0,00	0,04	0,04
132,92	181,25	99,22	0,11	0,45	0,83	0,27	-0,34	-0,83
133,01	132,65	159,18	-0,17	0,15	0,80	0,00	0,16	0,17
181,87	109,18	121,66	-0,41	0,24	0,65	-0,67	-0,49	0,10
156,36	182,38	182,39	0,06	-0,52	0,61	0,14	0,14	0,00
191,12	177,37	167,15	-1,67	-1,54	0,33	-0,08	-0,14	-0,06
257,67	47,80	237,74	-0,98	0,24	0,51	-4,39	-0,08	0,80
66,95	321,76	193,22	-0,33	-3,64	0,11	0,79	0,65	-0,67
161,41	130,13	166,37	-0,24	-0,22	0,64	-0,24	0,03	0,22
146,66	146,43	191,58	-0,14	-0,74	0,52	0,00	0,23	0,24
130,02	281,03	124,18	-2,32	-3,82	-0,01	0,54	-0,05	-1,26
183,65	243,11	328,82	0,05	0,05	1,00	0,24	0,44	0,26
177,46	203,58	106,27	0,03	0,50	0,97	0,13	-0,67	-0,92
102,14	146,20	114,60	0,27	-0,05	0,96	0,30	0,11	-0,28
203,66	220,73	164,25	0,23	0,03	0,93	0,08	-0,24	-0,34
86,89	128,03	207,94	0,04	0,27	0,90	0,32	0,58	0,38
235,93	115,15	207,88	-0,11	0,03	0,86	-1,05	-0,13	0,45
66,43	275,94	56,98	0,03	-0,29	0,71	0,76	-0,17	-3,84
154,59	122,71	143,01	0,06	0,16	0,69	-0,26	-0,08	0,14
63,32	278,27	186,25	-0,14	-0,44	0,69	0,77	0,66	-0,49
248,53	209,63	62,84	-1,19	-0,97	0,58	-0,19	-2,95	-2,34
238,50	30,32	171,44	-1,84	-0,11	0,33	-6,87	-0,39	0,82
25,15	182,32	281,47	0,13	-0,97	0,44	0,86	0,91	0,35
125,01	84,46	242,90	-0,67	-0,28	0,44	-0,48	0,49	0,65
261,25	271,54	141,56	-2,62	-2,41	0,16	0,04	-0,85	-0,92
201,40	49,49	201,23	-0,91	0,36	0,36	-3,07	0,00	0,75
22,16	269,96	101,53	-0,65	-3,36	-0,19	0,92	0,78	-1,66
257,03	221,35	208,45	-0,80	-0,67	0,57	-0,16	-0,23	-0,06
151,54	269,64	228,11	-0,04	-0,64	0,58	0,44	0,34	-0,18

243,11	319,80	225,97	-2,46	-3,49	-0,01	0,24	-0,08	-0,42
219,15	258,84	191,74	-1,27	-2,14	0,31	0,15	-0,14	-0,35
185,88	256,42	257,45	-0,27	-0,68	0,60	0,28	0,28	0,00
131,64	150,30	301,82	-1,36	-1,04	0,25	0,12	0,56	0,50
236,19	134,35	114,57	-0,75	-0,25	0,54	-0,76	-1,06	-0,17
93,08	56,17	86,23	-0,11	0,30	0,38	-0,66	-0,08	0,35
152,25	209,94	137,01	-0,56	-1,35	0,46	0,27	-0,11	-0,53
60,17	169,11	136,54	-0,42	-1,00	0,29	0,64	0,56	-0,24
186,43	137,68	62,94	-1,80	-1,01	0,05	-0,35	-1,96	-1,19
49,48	91,29	19,71	-0,28	-0,85	-0,14	0,46	-1,51	-3,63
97,02	16,44	298,66	-2,26	-0,03	-0,31	-4,90	0,68	0,94
12,74	167,87	52,29	0,25	-2,78	-0,13	0,92	0,76	-2,21
					-0,04			
113,54	87,73	22,94	-0,30	-0,22	0,60	-0,29	-3,95	-2,82
76,09	26,42	25,26	-2,57	-1,01	-0,03	-1,88	-2,01	-0,05
25,54	26,23	26,97	0,33	0,27	-0,23	0,03	0,05	0,03
12,14	12,93	17,48	0,50	0,41	-0,11	0,06	0,31	0,26
11,19	14,72	126,64	0,41	0,19	-0,14	0,24	0,91	0,88
15,79	93,23	248,98	0,31	-1,31	-0,12	0,83	0,94	0,63
211,11	355,39	118,82	-1,83	-3,23	0,16	0,41	-0,78	-1,99
154,75	286,29	294,61	-0,50	-1,37	0,42	0,46	0,47	0,03
191,95	193,10	80,34	-2,54	-2,15	0,03	0,01	-1,39	-1,40
193,54	55,19	139,39	-1,45	0,30	0,28	-2,51	-0,39	0,60
47,28	107,25	57,76	0,26	-0,27	0,28	0,56	0,18	-0,86
128,83	240,59	234,39	0,15	-0,26	0,64	0,46	0,45	-0,03
78,92	79,24	36,52	-0,62	-0,64	0,17	0,00	-1,16	-1,17
41,41	77,17	43,43	-0,04	0,06	0,30	0,46	0,05	-0,78
70,84	20,63	25,74	-0,49	0,23	0,13	-2,43	-1,75	0,20
31,79	32,76	201,53	0,36	0,44	-0,01	0,03	0,84	0,84
14,70	154,58	14,35	0,48	-1,31	0,14	0,90	-0,02	-9,77
175,98	69,43	43,93	-2,62	-0,27	-0,09	-1,53	-3,01	-0,58
75,96	72,85	174,36	-0,25	-0,20	0,33	-0,04	0,56	0,58
86,37	106,25	106,22	-0,21	-0,59	0,20	0,19	0,19	0,00
71,26	108,01	112,14	0,32	-0,16	0,40	0,34	0,36	0,04
53,07	83,74	94,38	0,22	-0,73	0,13	0,37	0,44	0,11
95,12	80,22	50,19	-1,58	-1,56	-0,27	-0,19	-0,89	-0,60
78,02	77,51	70,26	-0,32	-0,10	0,20	-0,01	-0,11	-0,10
50,22	31,08	47,22	0,02	0,39	-0,24	-0,62	-0,06	0,34
3,69	3,77	3,94	0,84	0,81	-0,27	0,02	0,06	0,04
16,21	15,91	15,71	0,51	0,54	-0,17	-0,02	-0,03	-0,01
5,19	5,39	5,72	0,68	0,66	-0,18	0,04	0,09	0,06
3,61	3,91	39,39	0,73	0,71	-0,18	0,08	0,91	0,90
12,38	18,24	16,31	0,50	0,26	-0,14	0,32	0,24	-0,12
47,80	48,19	57,08	0,29	0,22	0,07	0,01	0,16	0,16
15,30	11,97	33,58	0,37	0,58	-0,15	-0,28	0,54	0,64

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

22,19	99,17	154,89	0,58	-0,41	0,04	0,78	0,86	0,36
146,24	125,06	103,06	-0,52	-0,54	0,35	-0,17	-0,42	-0,21
158,32	9,25	26,39	-1,64	0,41	-0,10	-16,11	-5,00	0,65
8,92	8,79	8,64	0,74	0,75	-0,20	-0,01	-0,03	-0,02
9,68	9,43	13,15	0,65	0,66	-0,16	-0,03	0,26	0,28
5,76	7,48	6,05	0,76	0,73	-0,11	0,23	0,05	-0,24
					0,17			
12,42	12,74	13,26	0,71	0,70	-0,15	0,03	0,06	0,04
9,62	9,14	8,75	0,76	0,77	-0,24	-0,05	-0,10	-0,05
18,52	18,09	17,52	0,59	0,61	-0,15	-0,02	-0,06	-0,03
14,22	13,76	13,47	0,37	0,40	-0,06	-0,03	-0,06	-0,02
11,19	10,82	60,61	0,46	0,48	-0,06	-0,03	0,82	0,82
68,07	57,16	51,42	-0,37	-0,28	0,23	-0,19	-0,32	-0,11
66,51	34,60	38,08	-0,79	0,25	-0,12	-0,92	-0,75	0,09
31,27	44,02	43,31	0,21	-0,04	0,22	0,29	0,28	-0,02
36,46	33,99	29,46	-0,29	-0,16	0,22	-0,07	-0,24	-0,15
93,62	100,95	103,37	-0,25	-0,33	0,46	0,07	0,09	0,02
8,44	20,65	72,07	0,35	0,33	-0,04	0,59	0,88	0,71
16,94	80,49	49,38	0,37	-0,86	-0,15	0,79	0,66	-0,63
61,62	18,45	56,89	-0,16	0,44	0,05	-2,34	-0,08	0,68
12,58	10,83	10,26	0,53	0,71	-0,07	-0,16	-0,23	-0,05
8,32	5,21	4,87	0,56	0,74	-0,06	-0,59	-0,71	-0,07
22,24	9,28	16,17	0,04	0,67	-0,11	-1,40	-0,38	0,43
15,31	32,02	15,58	0,62	-0,51	-0,15	0,52	0,02	-1,06
10,70	23,54	84,30	0,50	0,04	-0,03	0,55	0,87	0,72
29,62	52,32	36,18	0,40	0,04	0,16	0,43	0,18	-0,45
109,29	110,31	129,35	0,21	0,19	0,58	0,01	0,16	0,15
					0,26			
15,56	14,73	13,71	0,46	0,50	-0,12	-0,06	-0,13	-0,07
10,42	9,96	9,63	0,51	0,53	-0,12	-0,05	-0,08	-0,03
9,10	8,57	8,14	0,53	0,56	-0,12	-0,06	-0,12	-0,05
13,31	12,27	11,21	0,37	0,42	-0,16	-0,09	-0,19	-0,09
8,65	7,96	7,33	0,67	0,68	-0,04	-0,09	-0,18	-0,09
7,25	6,70	25,27	0,65	0,58	-0,16	-0,08	0,71	0,73
10,18	7,29	8,68	0,43	0,66	-0,16	-0,40	-0,17	0,16
9,81	10,66	12,84	0,55	0,59	-0,06	0,08	0,24	0,17
					-0,24			
					-0,14			
					-0,25			
					0,17			
51,18	21,18	15,88	-0,59	0,13	-0,29	-1,42	-2,22	-0,33
6,19	10,92	23,44	0,78	0,39	-0,12	0,43	0,74	0,53
16,66	24,91	23,53	0,34	0,16	-0,27	0,33	0,29	-0,06
17,11	8,68	10,01	0,31	0,50	-0,15	-0,97	-0,71	0,13
25,18	23,95	23,87	0,18	-0,12	0,30	-0,05	-0,05	0,00

10,62	10,53	8,50	0,22	0,63	-0,06	-0,01	-0,25	-0,24
44,56	53,82	48,38	-0,32	-0,85	0,06	0,17	0,08	-0,11
55,42	51,41	63,44	0,00	-0,22	0,24	-0,08	0,13	0,19
58,45	52,12	51,52	-0,88	0,22	0,07	-0,12	-0,13	-0,01
13,05	11,49	9,97	0,64	0,56	0,00	-0,14	-0,31	-0,15
8,62	9,08	9,74	0,41	0,16	-0,17	0,05	0,12	0,07
9,41	10,03	11,16	0,33	-0,09	-0,19	0,06	0,16	0,10
7,18	7,67	63,02	0,07	-0,10	-0,11	0,06	0,89	0,88
16,72	10,55	13,83	0,14	-0,03	0,17	-0,58	-0,21	0,24
144,53	20,77	19,24	-0,94	-0,28	0,25	-5,96	-6,51	-0,08
					0,38			
60,12	20,90	22,71	-0,29	-0,16	0,32	-1,88	-1,65	0,08
40,72	38,64	36,55	0,69	0,73	0,69	-0,05	-0,11	-0,06
					0,84			
					0,95			
					0,98			
					0,34			
102,07	10,93	31,72	-0,62	-0,16	0,45	-8,34	-2,22	0,66
51,04	34,25	39,58	-0,17	-0,06	0,50	-0,49	-0,29	0,13
35,15	37,98	35,80	-0,08	-0,21	0,69	0,07	0,02	-0,06
45,13	24,29	28,19	-0,10	0,01	0,54	-0,86	-0,60	0,14
26,12	27,10	82,44	0,00	0,06	0,82	0,04	0,68	0,67
21,63	72,97	6,10	-0,09	-0,18	0,87	0,70	-2,55	-10,96
64,74	102,68	116,53	-0,01	-0,01	0,95	0,37	0,44	0,12
5,61	13,82	11,55	0,01	0,01	0,98	0,59	0,51	-0,20
6,92	7,61	8,97	0,62	0,58	-0,23	0,09	0,23	0,15
7,92	8,81	19,62	0,64	0,62	-0,25	0,10	0,60	0,55
16,68	14,47	7,83	0,44	0,58	-0,22	-0,15	-1,13	-0,85
75,18	37,62	39,70	-1,60	-0,08	-0,12	-1,00	-0,89	0,05
28,48	28,76	111,65	0,12	-0,38	-0,10	0,01	0,74	0,74
41,24	43,55	44,89	0,29	-0,15	0,24	0,05	0,08	0,03
24,84	28,12	196,77	-0,51	-0,08	0,09	0,12	0,87	0,86
34,18	238,50	196,05	0,39	-2,31	0,19	0,86	0,83	-0,22
156,27	156,95	201,05	-0,75	-0,75	0,37	0,00	0,22	0,22
164,57	165,40	55,72	-0,80	-0,80	0,43	0,01	-1,95	-1,97
219,45	57,78	45,74	-2,79	-0,43	0,07	-2,80	-3,80	-0,26
50,84	38,97	168,30	-0,24	-0,22	0,18	-0,30	0,70	0,77
111,15	158,38	255,96	-0,07	-0,54	0,48	0,30	0,57	0,38
202,68	218,42	153,70	-1,67	-2,18	0,25	0,07	-0,32	-0,42
168,51	149,83	146,14	-2,48	-1,69	0,02	-0,12	-0,15	-0,03
					0,57			
80,75	134,47	87,58	-0,18	-0,43	0,41	0,40	0,08	-0,54
176,82	57,76	177,65	-1,11	-0,07	0,35	-2,06	0,00	0,67
46,46	72,87	77,44	-0,11	-0,25	0,09	0,36	0,40	0,06
150,92	45,01	268,36	-1,65	-0,80	0,06	-2,35	0,44	0,83

110,93	167,71	57,81	-0,09	-0,48	0,66	0,34	-0,92	-1,90
144,90	77,57	86,00	-0,47	0,12	0,51	-0,87	-0,68	0,10
104,88	39,26	33,18	-1,01	-0,57	0,35	-1,67	-2,16	-0,18
12,63	18,81	81,49	-0,25	-0,19	0,68	0,33	0,84	0,77
31,63	208,24	81,10	0,08	-0,99	0,61	0,85	0,61	-1,57
92,38	124,31	163,29	-0,12	-0,87	0,47	0,26	0,43	0,24
114,67	119,01	19,45	-0,38	-0,10	0,81	0,04	-4,90	-5,12
181,23	77,53	248,39	0,25	0,06	0,96	-1,34	0,27	0,69
38,61	305,04	45,73	0,09	0,03	1,00	0,87	0,16	-5,67
159,76	100,48	176,67	-1,37	-0,98	0,24	-0,59	0,10	0,43
39,89	81,27	92,03	-0,20	-2,10	-0,16	0,51	0,57	0,12
83,24	111,85	72,48	-1,62	-2,04	0,04	0,26	-0,15	-0,54
63,69	75,57	31,38	-3,44	-4,13	-0,61	0,16	-1,03	-1,41
196,44	86,71	197,77	-3,50	-2,57	-0,22	-1,27	0,01	0,56
88,34	150,04	81,10	-2,92	-4,22	-0,31	0,41	-0,09	-0,85
56,49	168,73	126,02	-1,19	-3,25	-0,10	0,67	0,55	-0,34
130,61	177,24	81,84	-1,38	-1,94	0,23	0,26	-0,60	-1,17
166,36	20,50	17,00	-3,93	0,13	-0,28	-7,12	-8,79	-0,21
43,36	41,73	38,47	-0,46	-0,39	0,19	-0,04	-0,13	-0,08
18,10	20,93	37,70	-0,28	-0,57	-0,53	0,14	0,52	0,44
14,90	12,38	14,02	0,15	0,00	-0,72	-0,20	-0,06	0,12
15,50	7,21	38,59	0,11	-0,28	-0,76	-1,15	0,60	0,81
14,41	31,70	40,26	0,07	-0,91	-0,38	0,55	0,64	0,21
15,27	66,86	57,09	-0,09	-2,79	-0,44	0,77	0,73	-0,17
99,60	59,12	80,72	-3,06	-2,28	-0,41	-0,68	-0,23	0,27
100,18	163,15	293,99	-1,43	-2,04	0,30	0,39	0,66	0,45
63,57	242,40	80,40	-0,08	-2,04	0,48	0,74	0,21	-2,01
81,46	98,70	83,54	-1,03	-1,66	0,12	0,17	0,02	-0,18
83,72	112,31	69,47	-0,43	-0,83	0,36	0,25	-0,21	-0,62
74,14	162,90	190,53	-0,13	-0,97	0,46	0,54	0,61	0,15
38,11	43,15	145,75	-0,05	-0,05	0,47	0,12	0,74	0,70
106,77	122,87	119,48	-0,93	-1,05	0,37	0,13	0,11	-0,03
147,47	58,08	74,75	-0,43	0,03	0,56	-1,54	-0,97	0,22
35,55	31,06	54,19	-0,92	-1,00	0,10	-0,14	0,34	0,43
32,78	106,32	16,39	-0,71	-1,25	0,45	0,69	-1,00	-5,49
114,59	52,99	81,88	-1,36	-0,56	0,41	-1,16	-0,40	0,35
18,19	120,59	25,87	-0,25	-1,36	0,48	0,85	0,30	-3,66
71,54	72,72	45,26	-0,14	-0,48	0,66	0,02	-0,58	-0,61
7,88	135,29	6,88	-0,19	-0,91	0,61	0,94	-0,14	-18,65
32,20	41,94	109,09	-0,13	0,35	0,79	0,23	0,70	0,62
24,90	243,01	187,06	-0,02	-0,45	0,84	0,90	0,87	-0,30
58,88	118,27	118,73	-0,02	0,08	0,94	0,50	0,50	0,00
75,94	94,44	101,25	0,15	-0,01	0,88	0,20	0,25	0,07
188,56	201,68	91,32	0,09	0,03	0,98	0,07	-1,06	-1,21
122,27	90,36	101,85	-1,10	-0,82	0,35	-0,35	-0,20	0,11

58,48	85,56	111,11	-0,50	-0,32	0,38	0,32	0,47	0,23
37,04	61,09	47,35	-0,38	-0,40	0,47	0,39	0,22	-0,29
43,95	62,29	93,23	0,06	-1,10	0,30	0,29	0,53	0,33
17,86	87,74	152,47	-0,42	-0,97	0,59	0,80	0,88	0,42
95,56	120,88	152,94	-1,62	-1,86	0,12	0,21	0,38	0,21
					0,57			
51,54	157,87	42,82	-0,53	-2,48	0,20	0,67	-0,20	-2,69
114,47	45,78	110,65	-1,18	-0,77	0,43	-1,50	-0,03	0,59
54,92	52,52	74,57	-0,26	-0,36	0,53	-0,05	0,26	0,30
51,52	65,21	60,28	-0,05	-0,27	0,72	0,21	0,15	-0,08
35,67	33,96	25,82	-0,18	-0,33	0,59	-0,05	-0,38	-0,32
13,07	5,02	9,43	0,12	-0,04	0,60	-1,60	-0,39	0,47
11,23	9,87	8,48	0,22	-0,02	0,68	-0,14	-0,32	-0,16
6,00	17,00	8,65	-0,29	-0,43	0,76	0,65	0,31	-0,96
11,25	8,14	6,30	-0,04	-0,05	0,78	-0,38	-0,79	-0,29
3,65	23,45	70,45	-0,04	-0,07	0,79	0,84	0,95	0,67
13,33	59,99	165,83	0,61	-0,09	0,77	0,78	0,92	0,64
83,27	103,88	128,17	-0,86	-0,90	0,44	0,20	0,35	0,19
51,35	64,37	74,28	0,10	-0,31	0,67	0,20	0,31	0,13
52,58	35,08	148,94	-0,16	0,15	0,72	-0,50	0,65	0,76
65,04	78,10	116,94	0,13	0,05	0,73	0,17	0,44	0,33
79,31	56,04	55,77	-0,23	-0,08	0,56	-0,42	-0,42	0,00
77,51	75,12	160,40	0,18	0,28	0,74	-0,03	0,52	0,53
139,25	57,91	63,86	-0,28	-0,06	0,78	-1,40	-1,18	0,09
16,96	11,24	5,04	0,20	-0,06	0,85	-0,51	-2,36	-1,23
13,65	8,38	122,15	-0,17	0,06	0,88	-0,63	0,89	0,93
33,98	165,22	46,14	0,04	-0,16	0,89	0,79	0,26	-2,58
75,05	79,06	102,89	0,18	0,33	0,87	0,05	0,27	0,23
61,51	63,86	176,09	0,11	-0,07	0,88	0,04	0,65	0,64
59,71	52,06	92,17	-1,21	-0,06	0,81	-0,15	0,35	0,44
85,32	55,46	83,65	0,14	0,21	0,94	-0,54	-0,02	0,34
					0,90			
87,32	90,96	74,77	-0,25	-0,36	0,57	0,04	-0,17	-0,22
85,49	77,14	105,52	-0,33	-0,26	0,56	-0,11	0,19	0,27
125,55	83,14	125,77	-0,03	0,09	0,81	-0,51	0,00	0,34
46,74	127,71	171,55	-0,13	-0,16	0,74	0,63	0,73	0,26
64,92	102,88	90,23	-1,69	-0,86	0,40	0,37	0,28	-0,14
					0,70			
105,66	105,58	105,50	0,00	0,05	0,80	0,00	0,00	0,00
210,51	210,39	210,42	-2,32	-2,37	0,52	0,00	0,00	0,00
122,74	122,77	122,76	-0,38	-0,38	0,70	0,00	0,00	0,00
154,35	154,33	149,05	-1,12	-1,06	0,56	0,00	-0,04	-0,04
40,30	164,48	147,90	-0,29	-1,06	0,63	0,76	0,73	-0,11
26,92	58,66	26,91	0,07	-0,26	0,29	0,54	0,00	-1,18
47,04	26,49	116,45	-0,60	-0,56	0,38	-0,78	0,60	0,77

25,65	115,65	133,15	-0,30	-2,09	0,12	0,78	0,81	0,13
49,28	76,17	95,61	-1,61	-1,98	-0,02	0,35	0,48	0,20
					0,55			
100,12	77,55	31,84	-1,63	-1,40	0,23	-0,29	-2,14	-1,44
34,41	43,15	142,66	-0,26	-0,57	0,11	0,20	0,76	0,70
7,23	173,61	69,11	-0,09	-2,92	0,24	0,96	0,90	-1,51
89,86	54,82	76,21	-1,60	-0,55	0,28	-0,64	-0,18	0,28
36,18	63,43	46,26	-0,36	-0,94	0,20	0,43	0,22	-0,37

10.1. Skill Score for RMSE (daily GHI daily)

RMSE _{0d} (kWh/m ²)	RMSE _{1d} (kWh/m ²)	RMSE _{2d} (kWh/m ²)	S _{0d}	S _{1d}	S _{2d}
0,04	0,50	1,29	0,92	0,97	0,61
0,05	1,79	0,24	0,97	0,80	-6,46
0,12	0,19	0,15	0,34	0,17	-0,27
0,17	0,10	0,11	-0,73	-0,54	0,11
0,03	0,25	0,05	0,87	0,42	-3,63
0,43	0,06	0,13	-6,18	-2,43	0,52
0,24	0,10	0,35	-1,29	0,32	0,70
0,05	0,24	0,25	0,79	0,81	0,07
0,06	0,08	1,48	0,22	0,96	0,95
0,04	1,21	2,36	0,97	0,98	0,49
1,03	2,30	0,88	0,55	-0,17	-1,62
2,32	0,69	0,29	-2,37	-6,91	-1,35
0,48	0,65	0,46	0,27	-0,04	-0,43
0,11	1,12	1,58	0,90	0,93	0,29
0,06	1,56	0,86	0,96	0,93	-0,82
0,05	2,51	1,78	0,98	0,97	-0,41
0,31	1,56	0,20	0,80	-0,57	-6,97
0,46	0,54	1,13	0,14	0,59	0,53
0,68	1,40	1,40	0,51	0,51	0,00
0,28	0,27	0,27	-0,01	-0,03	-0,01
0,03	0,24	0,32	0,89	0,92	0,24
0,05	0,11	1,06	0,52	0,95	0,90
0,31	1,38	1,40	0,78	0,78	0,02
0,19	1,05	1,84	0,82	0,90	0,43
0,80	1,34	1,56	0,40	0,49	0,14
0,21	1,04	0,68	0,80	0,69	-0,52
1,79	1,93	1,26	0,08	-0,42	-0,53
1,62	1,61	0,64	-0,01	-1,51	-1,49
0,97	0,76	0,44	-0,29	-1,20	-0,71
1,10	0,04	0,96	-24,21	-0,14	0,95
0,00	0,92	0,37	1,00	1,00	-1,52
1,34	0,01	1,63	-114,16	0,18	0,99
0,16	1,76	0,70	0,91	0,77	-1,51
0,12	0,33	1,20	0,63	0,90	0,72
0,12	0,33	2,74	0,65	0,96	0,88
0,02	1,38	0,04	0,99	0,61	-34,38
0,65	1,81	3,30	0,64	0,80	0,45

0,47	3,10	1,08	0,85	0,56	-1,86
0,87	1,15	2,21	0,25	0,61	0,48
1,26	0,46	0,44	-1,71	-1,87	-0,06
0,37	0,31	0,03	-0,18	-10,22	-8,52
0,11	0,40	0,67	0,73	0,84	0,40
0,12	0,73	0,30	0,83	0,58	-1,44
0,65	0,49	0,58	-0,32	-0,12	0,15
0,12	0,14	0,39	0,16	0,70	0,64
0,03	0,68	0,62	0,96	0,95	-0,10
0,02	0,07	0,57	0,68	0,96	0,88
0,37	0,71	0,29	0,48	-0,28	-1,46
0,54	0,08	0,12	-5,90	-3,49	0,35
0,04	0,00	0,52	-60,64	0,92	1,00
0,07	0,84	0,43	0,91	0,83	-0,97
0,09	0,13	0,43	0,31	0,80	0,71
1,12	0,49	1,35	-1,29	0,17	0,64
0,71	2,38	1,42	0,70	0,50	-0,68
2,14	2,09	2,32	-0,02	0,08	0,10
0,08	0,04	0,06	-0,71	-0,19	0,30
0,85	0,32	0,32	-1,66	-1,64	0,01
0,99	0,86	0,15	-0,15	-5,67	-4,79
0,55	0,44	2,43	-0,25	0,77	0,82
0,84	3,44	0,01	0,76	-101,50	-417,99
2,03	1,24	1,96	-0,64	-0,04	0,37
0,87	0,02	1,18	-39,93	0,26	0,98
0,75	0,55	0,94	-0,36	0,20	0,41
0,38	1,81	0,30	0,79	-0,26	-4,97
2,67	1,66	1,89	-0,61	-0,41	0,12
2,26	2,29	0,78	0,01	-1,91	-1,95
3,15	1,16	1,62	-1,70	-0,94	0,28
1,15	0,24	1,26	-3,89	0,09	0,81
0,98	0,07	3,34	-12,95	0,71	0,98
0,64	3,39	0,67	0,81	0,05	-4,03
1,60	1,33	0,85	-0,20	-0,88	-0,57
0,74	0,69	1,68	-0,08	0,56	0,59
1,17	0,35	0,01	-2,34	-94,78	-27,64
0,53	0,53	1,25	-0,01	0,57	0,58
1,34	0,85	2,91	-0,57	0,54	0,71
3,68	3,55	2,26	-0,04	-0,63	-0,57
0,39	0,75	0,92	0,48	0,57	0,19
1,26	0,27	1,30	-3,60	0,03	0,79
0,48	0,90	1,13	0,47	0,57	0,20
0,18	0,20	2,43	0,06	0,92	0,92

0,33	3,04	1,50	0,89	0,78	-1,02
2,46	1,90	3,85	-0,30	0,36	0,51
1,51	3,36	3,21	0,55	0,53	-0,05
1,35	1,03	2,56	-0,31	0,47	0,60
1,61	0,52	1,47	-2,12	-0,10	0,65
0,48	0,84	3,10	0,44	0,85	0,73
0,01	2,70	1,73	1,00	1,00	-0,56
0,73	3,62	2,02	0,80	0,64	-0,79
0,77	0,19	1,64	-2,98	0,53	0,88
0,15	1,19	0,41	0,87	0,63	-1,91
0,79	3,70	2,75	0,79	0,71	-0,34
1,51	2,26	2,69	0,33	0,44	0,16
1,70	3,49	0,62	0,51	-1,74	-4,63
0,97	2,45	0,26	0,61	-2,68	-8,37
0,71	2,70	0,26	0,74	-1,66	-9,18
2,57	0,81	0,92	-2,17	-1,80	0,11
0,62	0,62	0,63	0,00	0,01	0,01
1,00	1,20	0,78	0,17	-0,29	-0,55
0,60	0,53	0,74	-0,14	0,19	0,29
1,94	0,98	0,29	-0,97	-5,65	-2,37
1,64	1,60	1,59	-0,02	-0,03	-0,01
2,48	2,26	0,23	-0,10	-10,00	-9,02
3,07	0,14	2,39	-20,72	-0,28	0,94
1,06	4,51	2,77	0,77	0,62	-0,63
0,75	1,77	1,83	0,57	0,59	0,03
1,23	1,86	1,46	0,34	0,16	-0,28
1,45	3,87	1,87	0,62	0,22	-1,07
2,51	3,50	4,80	0,28	0,48	0,27
2,57	1,65	0,29	-0,56	-7,99	-4,76
1,00	0,92	1,21	-0,09	0,17	0,24
1,50	1,08	2,15	-0,39	0,30	0,50
0,07	0,89	2,67	0,92	0,97	0,67
2,21	1,19	2,17	-0,85	-0,02	0,45
0,76	3,21	0,34	0,76	-1,21	-8,30
0,37	0,04	0,78	-9,14	0,52	0,95
1,07	3,30	2,60	0,68	0,59	-0,27
3,76	2,92	1,03	-0,29	-2,64	-1,82
3,56	0,13	1,78	-25,79	-0,99	0,93
0,15	2,33	3,43	0,93	0,96	0,32
1,45	1,18	2,30	-0,23	0,37	0,49
3,89	3,68	1,99	-0,06	-0,96	-0,85
2,35	0,15	2,32	-15,14	-0,01	0,94
0,04	3,33	1,58	0,99	0,97	-1,10
2,01	0,70	1,37	-1,88	-0,46	0,49
0,42	3,30	1,67	0,87	0,75	-0,97

2,47	3,95	2,13	0,37	-0,16	-0,86
2,69	1,14	1,62	-1,36	-0,67	0,29
0,59	1,73	1,33	0,66	0,56	-0,30
1,47	1,93	4,29	0,24	0,66	0,55
3,20	1,15	0,52	-1,77	-5,13	-1,21
1,37	0,00	1,27	-413,80	-0,08	1,00
1,43	2,90	0,07	0,51	-19,32	-40,15
0,80	1,74	1,60	0,54	0,50	-0,09
2,49	1,87	0,91	-0,33	-1,72	-1,04
0,81	1,43	0,17	0,44	-3,70	-7,33
1,57	0,25	3,62	-5,31	0,57	0,93
1,51	1,20	0,17	-0,26	-8,12	-6,27
1,32	0,10	0,06	-11,98	-21,86	-0,76
0,44	0,46	0,47	0,03	0,07	0,03
0,20	0,22	0,25	0,07	0,20	0,14
0,12	0,08	1,40	-0,46	0,91	0,94
0,27	1,30	3,82	0,79	0,93	0,66
2,99	4,59	1,62	0,35	-0,85	-1,84
0,22	2,64	2,39	0,92	0,91	-0,11
1,93	2,88	0,41	0,33	-3,68	-6,00
1,93	0,29	1,30	-5,58	-0,48	0,78
0,36	1,20	0,50	0,70	0,29	-1,40
0,99	3,29	3,02	0,70	0,67	-0,09
1,32	1,33	0,40	0,01	-2,30	-2,32
0,02	0,95	0,07	0,98	0,76	-12,96
1,16	0,06	0,19	-19,79	-5,09	0,71
0,05	0,27	2,17	0,81	0,98	0,87
0,17	2,45	0,05	0,93	-2,43	-49,22
2,37	0,36	0,26	-5,54	-8,17	-0,40
0,60	0,53	1,56	-0,12	0,62	0,66
0,94	0,40	1,23	-1,34	0,23	0,67
0,46	1,55	0,93	0,71	0,51	-0,67
0,27	1,04	1,44	0,74	0,81	0,28
1,46	1,36	0,68	-0,07	-1,15	-1,01
0,50	0,50	0,42	0,00	-0,18	-0,18
0,76	0,49	0,81	-0,53	0,06	0,39
0,02	0,02	0,02	-0,05	0,06	0,11
0,24	0,24	0,24	-0,01	-0,01	0,00
0,05	0,05	0,05	-0,01	-0,01	0,00
0,01	0,01	0,59	0,02	0,98	0,98
0,14	0,25	0,20	0,44	0,29	-0,27
0,11	0,52	0,72	0,79	0,85	0,27
0,11	0,01	0,50	-8,46	0,77	0,98

0,00	1,24	1,44	1,00	1,00	0,14
0,09	0,31	0,02	0,71	-2,84	-12,10
1,86	0,15	0,43	-11,18	-3,34	0,64
0,11	0,10	0,09	-0,05	-0,13	-0,08
0,15	0,14	0,20	-0,05	0,26	0,30
0,21	0,21	0,22	0,03	0,07	0,04
0,15	0,14	0,13	-0,07	-0,14	-0,06
0,30	0,29	0,28	-0,03	-0,07	-0,04
0,24	0,23	0,22	-0,05	-0,09	-0,04
0,19	0,18	0,97	-0,05	0,81	0,82
0,99	0,41	0,71	-1,43	-0,40	0,43
1,04	0,15	0,32	-6,16	-2,30	0,54
0,21	0,55	0,54	0,61	0,60	-0,02
0,49	0,45	0,04	-0,11	-11,15	-9,96
0,87	1,05	1,00	0,17	0,13	-0,05
0,03	0,21	1,16	0,88	0,98	0,82
0,16	1,36	0,65	0,88	0,75	-1,11
1,05	0,21	0,92	-3,99	-0,14	0,77
0,11	0,17	0,00	0,34	-33,85	-51,64
0,05	0,04	0,02	-0,28	-1,20	-0,72
0,21	0,14	0,15	-0,57	-0,46	0,07
0,26	0,57	0,13	0,54	-0,98	-3,29
0,16	0,21	1,04	0,26	0,85	0,79
0,39	0,75	0,46	0,48	0,16	-0,62
0,25	0,24	0,22	-0,07	-0,18	-0,10
0,08	0,06	0,04	-0,35	-1,10	-0,56
0,06	0,04	0,02	-0,52	-2,29	-1,16
0,20	0,18	0,16	-0,12	-0,27	-0,14
0,09	0,06	0,04	-0,35	-1,04	-0,51
0,06	0,04	0,42	-0,52	0,85	0,90
0,11	0,01	0,06	-10,53	-0,75	0,85
0,82	0,34	0,25	-1,37	-2,27	-0,38
0,06	0,11	0,40	0,49	0,86	0,72
0,28	0,37	0,34	0,24	0,17	-0,09
0,23	0,08	0,09	-1,66	-1,65	0,01
0,24	0,15	0,16	-0,61	-0,55	0,03

0,11	0,09	0,05	-0,23	-1,05	-0,66
0,39	0,53	0,15	0,26	-1,55	-2,47
0,08	0,04	0,43	-1,01	0,82	0,91
0,55	0,40	0,36	-0,40	-0,53	-0,09
0,21	0,18	0,15	-0,17	-0,43	-0,22
0,04	0,07	0,10	0,44	0,60	0,29
0,08	0,11	0,15	0,27	0,44	0,23
0,04	0,07	0,96	0,49	0,96	0,93
0,23	0,11	0,16	-1,08	-0,44	0,31
0,95	0,34	0,38	-1,76	-1,49	0,10
1,07	0,09	0,52	-11,50	-1,08	0,83
0,65	0,26	0,13	-1,49	-4,02	-1,02
0,13	0,11	0,15	-0,19	0,12	0,26
0,73	0,38	0,47	-0,94	-0,54	0,20
0,26	0,16	1,23	-0,69	0,79	0,87
0,33	1,21	0,09	0,72	-2,54	-11,83
0,19	1,20	1,49	0,84	0,87	0,19
0,06	0,21	0,17	0,74	0,67	-0,26
0,03	0,07	0,12	0,58	0,74	0,37
0,06	0,10	0,32	0,43	0,81	0,68
0,25	0,20	0,11	-0,22	-1,31	-0,90
1,05	0,56	0,60	-0,86	-0,74	0,06
0,34	0,26	1,64	-0,33	0,79	0,84
0,55	0,57	0,63	0,03	0,12	0,10
0,38	0,36	2,79	-0,05	0,86	0,87
0,25	2,69	2,53	0,91	0,90	-0,06
1,77	1,80	2,01	0,01	0,12	0,11
2,19	2,21	0,23	0,01	-8,65	-8,76
2,17	0,28	0,11	-6,84	-19,47	-1,61
0,14	0,21	1,71	0,31	0,92	0,88
0,79	1,77	3,17	0,56	0,75	0,44
2,45	2,19	1,22	-0,12	-1,01	-0,79
0,32	1,22	0,32	0,74	0,00	-2,88
1,59	0,27	1,65	-4,99	0,03	0,84
0,46	0,91	0,54	0,50	0,16	-0,67
1,79	0,37	3,39	-3,89	0,47	0,89

0,68	1,99	0,21	0,66	-2,25	-8,56
1,35	0,82	1,00	-0,64	-0,34	0,18
1,36	0,54	0,50	-1,52	-1,72	-0,08
0,12	0,30	1,20	0,61	0,90	0,75
0,50	2,46	1,16	0,80	0,57	-1,11
1,16	1,76	1,86	0,34	0,38	0,06
1,74	1,66	0,23	-0,05	-6,48	-6,14
1,55	0,72	3,22	-1,15	0,52	0,78
0,46	4,15	0,58	0,89	0,22	-6,15
1,90	1,42	1,78	-0,34	-0,07	0,20
0,59	1,21	1,37	0,51	0,57	0,12
1,06	1,44	0,87	0,27	-0,22	-0,66
0,74	0,76	0,32	0,03	-1,32	-1,38
2,14	1,06	2,20	-1,01	0,02	0,52
1,13	1,80	1,22	0,37	0,07	-0,48
0,85	2,13	1,67	0,60	0,49	-0,28
1,38	1,56	1,00	0,12	-0,38	-0,56
2,03	0,29	0,20	-6,06	-9,04	-0,42
0,47	0,42	0,25	-0,11	-0,89	-0,70
0,28	0,33	0,58	0,14	0,52	0,44
0,19	0,14	0,22	-0,34	0,15	0,36
0,22	0,07	0,56	-1,88	0,62	0,87
0,21	0,49	0,62	0,57	0,66	0,22
0,23	0,92	0,86	0,75	0,73	-0,07
1,17	0,90	1,06	-0,30	-0,10	0,16
1,29	2,03	4,21	0,37	0,69	0,52
0,23	3,22	0,91	0,93	0,74	-2,56
0,49	0,64	0,41	0,23	-0,20	-0,56
1,02	1,14	0,71	0,11	-0,43	-0,60
0,32	1,63	2,24	0,80	0,86	0,27
0,48	0,19	1,61	-1,60	0,70	0,88
1,11	0,95	0,56	-0,17	-0,99	-0,70
1,56	0,53	0,87	-1,94	-0,79	0,39
0,10	0,04	0,43	-1,33	0,77	0,90
0,44	1,35	0,05	0,68	-8,43	-28,17
1,30	0,61	0,30	-1,12	-3,35	-1,05
0,24	1,62	0,41	0,85	0,42	-2,99
0,36	0,47	0,03	0,24	-10,07	-13,55
0,05	1,64	0,02	0,97	-1,68	-83,84
0,29	0,47	1,44	0,38	0,80	0,68
0,35	3,30	2,51	0,89	0,86	-0,31
0,21	1,38	0,75	0,85	0,72	-0,82
0,49	0,47	1,00	-0,05	0,50	0,53
2,10	2,47	0,30	0,15	-6,08	-7,30
1,38	1,08	0,02	-0,27	-72,02	-56,29

0,07	0,86	1,16	0,92	0,94	0,26
0,25	0,62	0,48	0,60	0,47	-0,30
0,49	0,50	0,72	0,00	0,31	0,31
0,16	1,14	1,68	0,86	0,91	0,32
0,58	1,88	0,04	0,69	-12,41	-42,10
1,36	0,01	1,42	-102,57	0,04	0,99
0,45	0,70	1,05	0,36	0,57	0,33
0,28	0,73	0,64	0,61	0,56	-0,13
0,42	0,22	0,06	-0,90	-5,49	-2,41
0,16	0,03	0,13	-4,03	-0,25	0,75
0,16	0,12	0,12	-0,31	-0,39	-0,06
0,09	0,25	0,13	0,65	0,31	-0,99
0,15	0,08	0,03	-0,92	-4,31	-1,77
0,01	0,33	0,85	0,96	0,99	0,62
0,10	0,70	2,24	0,86	0,95	0,69
0,80	0,98	1,62	0,18	0,50	0,39
0,02	0,61	0,69	0,97	0,97	0,12
0,64	0,02	1,77	-41,48	0,64	0,99
0,06	0,96	0,25	0,93	0,74	-2,85
0,62	0,01	0,01	-118,39	-45,02	0,61
0,85	0,72	1,83	-0,19	0,54	0,61
1,72	0,52	0,71	-2,28	-1,42	0,26
0,14	0,16	0,05	0,14	-1,78	-2,25
0,07	0,04	1,25	-0,96	0,94	0,97
0,28	2,08	0,37	0,87	0,25	-4,68
0,22	0,80	1,34	0,72	0,83	0,41
0,76	0,75	2,07	-0,01	0,63	0,64
0,10	0,21	0,92	0,50	0,89	0,77
1,02	1,07	0,67	0,04	-0,54	-0,60
1,00	0,77	1,19	-0,30	0,16	0,35
1,42	0,33	1,43	-3,35	0,00	0,77
0,41	1,46	1,91	0,72	0,79	0,24
1,41	1,41	1,40	0,00	0,00	0,00
2,77	2,77	2,77	0,00	0,00	0,00
1,69	1,69	1,69	0,00	0,00	0,00
1,92	1,92	1,85	0,00	-0,04	-0,04
0,12	2,11	1,86	0,94	0,93	-0,13
0,18	0,11	0,23	-0,66	0,22	0,53
0,53	0,05	1,27	-9,09	0,58	0,96

Performance Evaluation of Short-Term Solar Radiation Forecasting Tool “HRForecast”

0,19	1,10	1,62	0,83	0,88	0,32
1,18	1,00	0,17	-0,18	-5,86	-4,83
0,49	0,60	1,68	0,19	0,71	0,64
0,10	2,03	0,57	0,95	0,83	-2,58
1,08	0,14	0,71	-6,73	-0,52	0,80
0,05	0,87	0,58	0,95	0,92	-0,50